Aus der Chirurgischen Klinik der Universität Tübingen
Direktor: Professor Dr. W. Dick

Verletzungen und Erkrankungen peripherer Nerven
Gegenüberstellung der Erfolge chirurgischer Therapie

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades
der Medizin
einer Hohen Medizinischen Fakultät
der Eberhard-Karls-Universität
zu Tübingen

vorgelegt von
GERD STAEHLER
aus Leipzig

1964

7933

Aus der Chirurgischen Klinik der Universität Tübingen
Direktor: Professor Dr. W. Dick

Verletzungen und Erkrankungen peripherer Nerven
Gegenüberstellung der Erfolge chirurgischer Therapie

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades
der Medizin
einer Hohen Medizinischen Fakultät
der Eberhard-Karls-Universität
zu Tübingen

vorgelegt von
GERD STAEHLER
aus Leipzig

1964

Dekan: Prof. Dr. med. H. HARMS
1. Berichterstatter: Doz. Dr. med. W. DRIESEN
(Prof. Dr. W. DICK)
2. Berichterstatter: Prof. Dr. med. J. HIRSCHMANN

Fotodruck PRÄZIS · Tübingen

INHALTSVERZEICHNIS

Kapitel		Seite
I	ZUR GESCHICHTE DER NERVENNÄHTE	1
II	DIE DIAGNOSE	4
	A. Motilität	4
	B. Sensibilität	5
	C. Trophik	6
	D. Vasomotorische Störungen	7
	E. Schweißsekretion	7
	F. Kausalgie und Hyperpathie	8
	G. Die elektrische Funktionsprüfung	10
III	DIE DEGENERATION UND REGENERATION	14
	A. Rekapitulation der wichtigsten anatomischen Gegebenheiten	14
	B. Degeneration	16
	C. Regeneration	18
	D. Das Neurom	24
IV	DIE INDIKATION ZUR OPERATION	25
V	DIE OPERATIONSTECHNIK	32
VI	ERGEBNISSE DER NACHUNTERSUCHUNG VON NERVENNÄHTEN UND NEUROLYSEN	46
	Vergleich der eigenen Ergebnisse mit denen anderer Autoren	63
	Zusammenfassung	65
	ABBILDUNGEN	67
	LITERATUR-VERZEICHNIS	72
	Lebenslauf	

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41547602_0073

Kapitel I

ZUR GESCHICHTE DER NERVENNÄHTE

Hippokrates (5. - 4. Jahrhundert v. Chr.) beschäftigt sich schon viel mit Nerven. Er erwähnt Symptome, die auf das Vorliegen einer Nervenverletzung schließen lassen. So beschreibt er beispielsweise Sensibilitäts-Störungen, die auftreten, "wenn der Humerus nach hinten luxiert ist" (N. axillaris). Dadurch erfolgt "ein Druck auf den Nerven, was Empfindungslosigkeit zur Folge hat". Ebenso beschreibt er die Mißempfindungen, die bei Druck auf den N. ulnaris am Ellenbogen entstehen und sich entlang dem Unterarm bis in die Fingerspitzen fortpflanzen. Er warnt auch vor zu tiefer Wundausbrennung, damit keine große Ader und kein Nerv mit der Hitze in Berührung kommen. Für die Behandlung der Nervenverletzungen schlägt er nur konservative Maßnahmen vor, wohl deshalb, weil er bei chirurgischen Eingriffen die "convulsiones" fürchtet, die später als Tetanus identifiziert werden.

Eristratos und Herophilos (um 260 v. Chr.) unterscheiden bereits zwischen Bewegungsnerven - geleitet durch Willensimpulse - und Empfindungsnerven. Nerven seien hohle, mit Flüssigkeit gefüllte Röhren.

Galen (129 - etwa 139) stellt im Tier-Experiment die willkürliche Kontraktion des Muskelgewebes fest: "Die willkürliche Bewegung kommt vom Hirn her und geht über die Nerven in die Muskeln". Dabei unterscheidet er die Nervenstränge von Sehnen und Bändern. Trotzdem wird von Dalla Croce (1520 - 1575) die Sehne noch als Fortsetzung des Nerven distal vom Muskel angesehen, die "Bewegung habe und Empfindung besitze". Galen ist es auch, der den Begriff des "Muskeltonus" prägt. Paul von Aegina (625 - 690) äußert zum ersten Mal den Wunsch, Nervenenden wieder aneinander zu bringen, indem er sie "cum carne" heften will.

Avicenna (980 - 1037) aus Persien übernimmt den Gedanken und näht, indem er das direkte Einstechen mit der Nadel in den Nerven vermeidet, nur das umgebende Gewebe und die Haut.

Die ersten erfolgreichen Nervennähte werden Guglelmo da Saliceto aus Bologna (1210 - 1280) zugeschrieben, die er nach der Methode des Avicenna durchführt. Diese Methode des Avicenna bleibt das ganze Mittelalter hindurch bis in die Neuzeit neben konservativen Methoden vorherrschend. Aus Furcht vor

dem berüchtigten "Spasmus" (Tetanus), der beim Einstich in den Nerven auftreten soll, versucht man indirekt "cum carne" zu nähen.

Ambroise Paré (1510 - 1590) beschreibt als erster die Causalgie nach Verletzung eines Nerven am Handgelenk bei seinem Patienten König Charles IX. Offenbar heilte diese Erkrankung nach 3 Monaten durch Behandlung mit Oel mehr oder weniger spontan aus. Bei Paré steht die Furcht vor dem Tetanus, besonders auf dem Schlachtfeld, der chirurgischen Therapie im Wege. Er beschränkt sich mit seiner Therapie auf Schonung und Schmerzlinderung.

Bemerkenswert sind die Bemühungen von Gabriele Ferrara (um 1580) aus Mailand, der wohl als erster die "direkte Nervennaht" durchführt. Als Nahtmaterial verwendet er feine, mit Rotwein getränkte Schildkrötensehnen. Leider kann sich jedoch diese Methode erst im 19. Jahrhundert durchsetzen. Der Schweizer Hildanus (um 1600) und der Deutsche Lorenz Heister (1683 - 1785) halten die Heilung eines durchtrennten Nerven für unmöglich. Die Folgen eines solchen Zustandes nehmen sie als unabänderlich hin.

Um 1776 entdeckt Cruikshank, daß sich durchtrennte Nerven durch das Wachsen neuer Nervenfasern regenerieren können. Er selbst führt Nervennähte erfolgreich durch. Fontane (1781) und Michaelis (1784) beschäftigen sich ebenfalls mit der Frage der Regeneration der Nerven. Letzterer stellt das Durchwachsen von Nervenfasern auch nach Setzung größerer Lücken fest, als es ihm gelingt, bei Aufteilung eines Stammes eine Verbindung der Fasern des proximalen und distalen Stückes über den Defekt hinaus zu verfolgen.

1836 versuchte Baudens eine Plexusnaht nach der alten Methode "cum carne", ebenso 1854 von Langenbeck mit einer Medianus-Naht. Diese "indirekten Nähte" müssen jedoch der alten Ferrara'schen Methode der "direkten Naht" weichen.

Nélaton (1864) legt Einzelknopfnähte mit Silberdraht an, Langier mit Seide und Vulpian (1870) mit Zwirnsfaden. Die Nähte werden dabei durch das Zentrum des Nervenquerschnittes geführt. Erst Hueter (1871) führt die Naht des Epineuriums mit feinsten Knopfnähten aus, eine Methode, die sich bis heute als eine der aussichtsreichsten gehalten hat. Markoe (1885) schlägt zur Gewinnung einer größeren Kontaktfläche den schrägen Resektionsschnitt zur Anfrischung vor. Richardson (1886) fordert, daß die gequetschten Nervenstümpfe mit glattem Schnitt reseziert werden.

Létiévant (1864) und Mitchell (1872) erkennen die Unmöglichkeit einer Wiederherstellung der Funktion innerhalb von 14 Tagen, wie sie z.B. von Nélaton und Langier beschrieben wurden. Sie weisen darauf hin, daß die Wiederherstellung der Funktion je nach Ort und Art der Verletzung am Nerven meist 1 - 2 Jahre braucht.

Durch die Forschungsergebnisse von Cruishank und Schwann über die Regeneration macht sich ein Optimismus breit, der viele glauben läßt, eine operative Behandlung des verletzten Nerven sei unnötig. Später zeigt sich allerdings, daß über 50 v.H. der Nervenverletzungen durch konservative Therapie geheilt oder gebessert werden können (Tönnis -1945- und Sunderland -1947-). Diese Tatsache soll aber nicht dazu verleiten, bei anatomischer Funktionsunterbrechung kostbare Zeit zu vergeuden und damit die Möglichkeit einer noch günstigeren Nervennaht zum optimalen Zeitpunkt zu versäumen.
(Aus Kleinschmidt, Nigst)

Kapitel II

DIE DIAGNOSE

A. MOTILITÄT

Die Motilitätsprüfung ist mit der wesentlichste Faktor für die Diagnose einer Nervenverletzung. Die motorischen Ausfälle lassen, wenn es sich um Verletzungen der Gliedmaßen handelt, auf Grund der anatomischen Gegebenheiten am raschesten auf den Defekt des betreffenden Nerven schließen. Hinzu kommen bei einer offenen Verletzung die Lokalisation und Tiefe des Traumas, die wichtige Hinweise geben können.

Für einige Muskelgruppen sind Tests für die aktive Bewegung ausgearbeitet worden, die hinlänglich bekannt sind (z.B. Faustschluß bei Medianus-Lähmung, Konusbildung der Fingerendglieder und Abduktion des Daumens, Opposition von Daumen und Kleinfinger bei Ulnaris und Medianus-Parese etc.). Sehr wichtig sind natürlich die äußeren Erscheinungsbilder bei länger bestehenden Lähmungen, wie Krallenhand (Ulnaris), Fallhand (Radialis), Geburtshelferhand (Medianus), Pes equino-varus (Peronaeus), Pes calcaneo-valgus (Tibialis), das Trendelenburg'sche Phänomen (= Watschelgang) bei Lähmung des N. glutaeus sup. und andere.

Von Bedeutung ist auch die passive Prüfung der Gelenksbeweglichkeit, da häufig schon lange bestehende Gelenkversteifungen mit zugehöriger Inaktivitätsatrophie der Muskeln Lähmungsbilder vortäuschen können. Besteht keine vollständige Lähmung, so prüft man die grobe Kraft der betreffenden Muskelgruppe, indem man gegen Widerstand bewegen läßt. Verglichen wird dabei mit der gesunden Gegenseite.

Eine weitere Täuschungsmöglichkeit sind die Trick-Bewegungen, die dadurch entstehen, daß andere Muskeln für den gelähmten einspringen. Von Pollock werden als Ursache für diese Trickbewegungen angesehen (Zit. nach Nigst):

1. Wirkung von Muskeln mit ursprünglich anderer Funktion.
2. Atypische Innervation.
3. Doppelte Innervation von Muskeln durch angrenzende Nerven.
4. Bewegungen, verursacht durch die Elastizität der Gelenke.
5. Bewegungen, verursacht durch die Wirkung des Schwergewichts.

In einem Fünftel aller Fälle bestehen nach Rowntree Innervationsanomalien. So soll der M. flexor pollicis brevis in 73 v.H. der Medianuslähmung und in 58 v.H. der Ulnarislähmung noch funktioniert haben, eine Tatsache, die für

eine doppelte Innervation durch die beiden Nerven spricht. Nach Rowntree sollen alle Übergänge bis zur ausschließlichen Innervation der Hand durch den Medianus oder Ulnaris vorkommen. Anastomosen zwischen den Nerven kommen nach Thompson besonders am Unterarm vor.

Die Innervationsanomalien lassen sich am besten durch den von Highet (1942) angegebenen Procain-Block feststellen. Dabei wird einer der beiden in Frage kommenden Nerven ausgeschaltet.

Seddon (1949) unterscheidet 6 Gruppen der motorischen Parese, die er auch zur Erfolgsbeurteilung empfiehlt:

1. Kontraktion gegen kraftvollen Widerstand.
2. Kontraktion gegen Gliedschwere und geringen Widerstand.
3. Kontraktion gegen Gliedschwere allein.
4. Bewegung ohne Beteiligung der Gliedschwere.
5. Angedeutete Kontraktion.
6. Völlige Lähmung.

Es muß für die Erhaltung der Gelenkbeweglichkeit gesorgt werden.

B. SENSIBILITÄT

Sensibilitätsdefekte werden am besten mit Pinsel und Nadel untersucht. Für diese Untersuchungsmethode ist die Unvoreingenommenheit des Patienten und des Arztes wichtig. Der Patient soll deshalb bei der Sensibilitätsprüfung nicht zusehen. Bei Verletzung der peripheren Nerven werden im allgemeinen nur die Berührungs- und die Schmerzempfindung geprüft. Bei Durchtrennung eines sensiblen Nerven ist der Bereich des Ausfalls für den Schmerz kleiner als für die Berührung (Nigst). Nach einer Nervendurchtrennung kommt es zu einer teilweisen Wiederherstellung der Sensibilität durch Überlagern der Dermatome (Intermediärzone). Nach einigen Tagen übernehmen die Fasern aus dem Nachbargebiet die sensorische Funktion der intermediären Zone, wodurch ein Rückgang des Ausfallgebietes bedingt ist. Nach einer Woche wachsen von dort sogar neue Fasern in das autonome Gebiet ein. Dadurch kommt ein weiterer Rückgang zustande. Diese Untersuchungen von Pollock (1920) werden noch von Sherman, Tigay u.a. (1949) an der Katze bestätigt. Bei Durchschneidung des N. ischiadicus und Alkohol-Injektion in das proximale Segment zeigt sich die Schrumpfung der Maximalzone dieses Nerven nicht durch Regeneration, sondern durch Einwachsen von Fasern aus den Nachbarnerven mit Beginn nach 30 Tagen und voller Auswirkung nach 120 Tagen. Hirsch-

mann (1955) weist andererseits darauf hin, daß Sensibilitätsstörungen weit über den Distributionsbereich des lädierten Nerven (Kriegsverletzung) hinausgehen können. In manchen Fällen kommt es zu Störungen des ganzen gleichseitigen Körperviertels oder der gesamten homolateralen Körperhälfte, wobei Berührungsreize schwächer oder stärker sein können, zum Teil auch mit dem Charakter der Hyperpathie. Die Sensibilitätsprüfung bringt aber meist zuverlässige diagnostische Hinweise. Wie bei der Motilitätsprüfung ist die anatomische Kenntnis der Versorgungsgebiete der Nerven wichtig. Anomalien lassen sich ebenfalls mit dem Procain-Block (nach Highet) nachweisen.

C. TROPHIK

Als wichtigste trophische Störung kommen das trophische Geschwür, Veränderungen in der Behaarung und an den Nägeln, Pigmentationen und "ekzematische" Veränderungen in Betracht. Besonders charakteristisch sind die Veränderungen an den Nägeln. Bei schweren Nervenschädigungen tritt das sogen. Nagelbettzeichen auf. Dabei ist der Nagel stärker gewölbt, dicker und das vordere Ende der Fingerbeere ist nicht mehr von dem vorstehenden Nagel getrennt, sondern beide sind miteinander verwachsen. Die Fingerbeere ist atrophisch (krallenartiges Aussehen). Mees' sche Streifen sind weißliche Querstreifen am Nagel (auch bei Arsen- und Thallium-Polyneuritis vorkommend).

Es können auch eigenartige "Pigmentationen" und "ekzematische" Veränderungen in gefühlsgestörten Hautbezirken auftreten. Die Haut ist meist bräunlich getönt und schilfert im Sinne eines keratotischen Ekzems ab. Die normale Widerstandskraft gegenüber Verletzungen im denervierten Gebiet ist verringert; es entwickeln sich leicht trophische Geschwüre. Muskel- und Sehnenverkürzungen können in Erscheinung treten. Vor allem bei partiellen Läsionen treten osteoporotische Veränderungen ähnlich einer Sudeck'schen Dystrophie auf (besonders im Medianus-Gebiet) (Nigst). Nach Bodechtel hängt der Grad der Knochendystrophie ab von der Stärke der Nervenläsion und der Zeit, die sie besteht. Stampfli u.a. beobachteten trophische Störungen meistens nach Medianusverletzungen.

In den denervierten Gebieten verliert sich meist die Behaarung. Bei irritativen Läsionen jedoch kann Hypertrichosis auftreten. Bodechtel sah bei Radialis-Lähmung und Plexis-Lähmung häufig eine auffallend starke Behaarung. Kroll (1949) empfiehlt bei Spätnähten und Neurolysen eine gleichzeitige Sympathikusblockade zur Besserung der Trophik.

D. VASOMOTORISCHE STÖRUNGEN

Es sind 2 Phasen zu unterscheiden:

1. Warme Phase: Infolge Lähmung der vasokonstriktorischen Fasen im Innervationsgebiet kommt es sofort zur Gefäßerweiterung und Blutanreicherung und damit zur Rötung und Erwärmung der Haut.
2. Kalte Phase: Sie beginnt nach etwa 3 Wochen. Die Haut paßt sich der Temperatur der Umgebung leicht an. Schulenburg (1949) macht für diesen Wechsel folgende Gründe verantwortlich:
   a. Der lokale Stoffwechsel ist erniedrigt, es wird dadurch weniger Wärme gebildet.
   b. Die postganglionären sympathischen Fasern sind durchtrennt, die Gefäße dadurch denerviert und dem zirkulierenden Adrenalin gegenüber empfindlich gemacht. (Gesetz der Denervation, Cannon).
   c. Verlust der afferenten Bahnen.
   d. Störungen der Integrität der Nervenversorgung des übrigen Teils der betroffenen Extremität.
   e. Organische Veränderungen an den peripheren Gefäßen.

Durch Procain-Block kann man feststellen, daß der Bereich für die Versorgung der Gefäße durch einen Nerven mit den von ihm versorgten sensiblen Gebieten übereinstimmt. Letztere Ansicht teilt Hoen (1946) jedoch nicht. Ramadier empfiehlt bei Läsionen des Ischiadicus-Stammes oder des N. tibialis prof., wenn Nerven-Naht und Neurolyse versagen, wenigstens eine hohe lumbale Grenzstrangs-Resektion zur Beseitigung von Durchblutungs-Störungen und subjektiven Beschwerden. Nach Phillipides (Zit. nach Nigst) soll dies aber nicht zur Erhöhung der Haut-Temperatur im betreffenden Hautbezirk beitragen.

E. SCHWEISSEKRETION

Die Tätigkeit der Schweißdrüsen ist bei der Läsion von Nerven oft mit beeinträchtigt. Anhidrosis besteht bei vollkommener Durchtrennung eines Nerven (Nigst u.a.). Nach Bodechtel, Krautzun, Kazmeier kommt Hyperhidrosis bei leichteren (partiellen) Nervenverletzungen vor. Dies bestätigt auch Saradžišvili: Bei unvollständiger Durchtrennung sind die vasomotorischen, sekretorischen und trophischen Störungen oft stärker als nach völliger Durchtrennung des Nerven, da die Hemmung, hervorgerufen durch

die zentralen Impulse, welche Rinde, hypothalamische und spinalvegetative Apparate bremsen, erhalten bleibt.

Für den Nachweis der Schweiß-Sekretion sind verschiedene Tests entwickelt worden, einige seien kurz erwähnt:

Nach Minor mit Jod und Stärke,
nach Guttmann die Quinizarin-Methode,
nach Rieder und Neumann mit Eisensalzen und Gerbsäure.

Kahn (1951) gibt als Diagnostikum an, daß bei völliger Durchtrennung des N. ulnaris die Schweiß-Sekretion an der Endphalanx des Kleinen Fingers, bei Medianus-Lähmung die der Endphalanx des Zeigefingers stets vollkommen erloschen ist. Wichtig ist dabei der Vergleich mit der (schwitzenden) Gegenseite. Die Beobachtung muß mit der Lupe durchgeführt werden.

F. KAUSALGIE UND HYPERPATHIE

Die Kausalgien sind, wenn das Symptombild vollständig ausgebildet ist, durch heftige brennende Schmerzen, Rötung der Extremität und Steigerung der Hauttemperatur gekennzeichnet (Hoff-Osler). Diese Erscheinungen, die im Versorgungsgebiet des lädierten Nerven auftreten, stehen mit dem Grad der Nervenschädigung bezüglich ihrer Intensität in keinem Zusammenhang. Das Brennen kann derart intensiv sein, daß sich die Patienten durch feuchte Umschläge oder durch Betupfen mit nassen Lappen Linderung verschaffen müssen. Berührung der betroffenen Extremität wird ängstlich vermieden. Man beobachtet sie häufig bei Verletzung des N. tibialis und des N. medianus. (besonders an Fußsohle und Handfläche). Sie sind als ein Sympathikus-Reizsymptom aufzufassen (Lauben-thal 1943 u.a.). Diese Annahme wird unter anderem durch die Tatsache bestärkt, daß Tibialis und Medianus besonders reichlich sympathische Nervenfasern mit sich führen.

Nicht selten ist, wie oben erwähnt wurde, die Kausalgie mit vasomotorischen Reizerscheinungen verbunden. Umgekehrt werden Kausalgie und Hyperpathie auch bei reinen Gefäßverletzungen, ohne Läsion eines Nerven, beobachtet (Bodechtel).

Die Kausalgie ist selten. Sie wurde fast nur bei teilweiser Durchtrennung, Quetschung oder Durchstechen des Nerven gefunden. Sie kann das Versorgungsgebiet des Nerven auch überschreiten.

Pathologisch-physiologisch ist das Auftreten nicht restlos geklärt. Nach Barnes (1953) (aus Nigst) soll sie infolge einer künstlichen Synapse zwischen efferenten sympathischen und afferenten sensorischen Fasern als Folge einer Verletzung entstehen. Dadurch entsteht eine "Kurzschluß-Schaltung". Impulse aus den sympathischen Fasern können zentripetal oder zentrifugal in den sensorischen Fasern enden. Die in die Peripherie laufenden Impulse bewirken dort das Freiwerden einer Substanz, die den Schwellenwert für die peripheren Reize herabsetzt oder selbst zentripetale Impulse setzt; letztere sollen sich dann mit denjenigen summieren, die an der Synapse direkt entstehen.

Hoff-Osler schließen sich der Theorie des "Überspringens" von Impulsen der gestörten Nervenfasern an. Es resultiert dann eine Kontraktion der Arterien und eine Stase der Venen. Diese abnormen Reaktionen haben

a) Schwellung der Extremitäten,
b) Erhöhung der Hauttemperatur,
c) anoxämische Schmerzen

zur Folge.
Als wirksamste Therapie wird neben symptomatischer (Wechselbäder, Elektrisieren) die Sympathektomie angesehen. (Laubenthal, Woodhall u.a.) Richter will die Kausalgie in 80 v.H. durch Neurolyse beseitigen. Die Behandlung sei allerdings ohne Erfolg, wenn bereits eine "thalamische Kausalgie" vorliege (d.h. eine psychisch fixierte Kausalgie).

Differentialdiagnostisch seien die Kausalgie bei Syringomyelie und die kausalgischen Schmerzzustände bei Narbenbildung nach Infektionen oder schweren Verletzungen erwähnt.

Bei der Hyperpathie handelt es sich um Schmerzzustände, bei denen die Schwelle für die Einzelreize zwar erhöht, aber Sukzessivreize, wie das bloße Streicheln über die Haut, heftige Schmerzen auslösen, die irradiieren (Bodechtel u.a.). Nach Rein und Schneider führt Hypalgesie durch Ausfall von Fasern in irgendeinem Niveau der gesamten Schmerzbahn regelmäßig zu Hyperpathie. Es entsteht dabei ein quälender Schmerz vom Charakter des Tiefenschmerzes, nämlich dann, wenn etwa der Nerv durch Verletzung auf wenige Fasern reduziert ist, so daß nur noch Einzelnetze, wie sonst in der Tiefe, funktionsfähig sind. Dasselbe kann beim Einwachsen einzelner neuer Fasern nach völliger Durchtrennung eines Nerven auftreten. In einem teilweise entnervten Hautbezirk ist die Zahl der Schmerzpunkte verändert. Durch die verminderte Zahl der Schmerzpunkte wird jedoch die Schwelle für großflächige Reize erhöht. Andererseits wird Schmerz durch Reize ausgelöst, die normalerweise nicht schmerzauslösend wirken. Rein sieht eine Erklärung möglicherweise darin, daß normalerweise die "langsameren Schmerzimpulse" (A delta, 20 -

40 m/sec), durch die schnelleren "Berührungsimpulse" (A beta, 60 m/sec) auf dem Wege zum Großhirn blockiert werden, aber wenn weniger Fasern für die Leitung von Druckerregung vorhanden sind, dennoch zur Auswirkung kommen.

G. DIE ELEKTRISCHE FUNKTIONSPRÜFUNG

Normalerweise reagieren alle Muskeln und Nerven auf faradischen und galvanischen Strom sowohl bei direkter Reizung am Muskel selbst, als auch bei indirekter Reizung am zugehörigen Nerven, mit einer Muskelkontraktion. Die indifferente Elektrode (Anode) wird auf die Brust oder in einige Entfernung oberhalb des Reizpunktes der differenten Elektrode gesetzt. Gemessen wird in Milliampères. Man versucht diejenige Reizschwelle zu ermitteln, bei der gerade eine deutliche Zuckung ausgelöst werden kann. Man reizt zunächst faradisch. Unter den pathologischen Bedingungen (Bodechtel, Laubenthal) erlischt zuerst die Zuckung "vom Nerven aus" (indirekt), später, bei noch intensiverer Schädigung, auch "die vom Muskel aus" (direkt). Bei galvanischer Reizung gilt dasselbe, allerdings kehrt bei Wiederauftreten der Leitfähigkeit die galvanische Erregbarkeit als erste zurück. Bei stärkerer Schädigung des Nerven tritt bei galvanischer Reizung eine träge, wurmförmige Zuckung des Muskels auf, im Gegensatz zu einer normalen, blitzartigen Zuckung. Man spricht dann von einer Entartungsreaktion (EaR). Solche Entartungsreaktionen können auftreten (nach Kloos):

a) bei Erkrankung der Vorderhörner,
b) bei Erkrankung der vorderen Wurzeln,
c) bei Erkrankung des Plexus und der motorischen Nerven; hier besonders bei den Verletzungen, aber auch z.B. bei Blei-Vergiftungen, bei Alkoholismus, bei rheumatischen Neuritiden und Starkstromschädigungen etc.

Es gibt 2 Arten von EaR:

1. Komplette EaR:
   a) galvanisch direkt: träge, wurmförmige Zuckung,
   b) faradisch direkt: Erregbarkeit des Muskels aufgehoben,
   c) galvanisch und faradisch indirekt: Erregbarkeit des Muskels aufgehoben,
   d) manchmal sieht man eine Umkehrung der Zuckungsformel, nämlich Anodenschließungszuckung vor Kathodenschließungszuckung

Nach Rein und Schneider sind bei der Degeneration des Nerven sämt-

liche Schwellen erhöht, gewöhnlich aber die für die KSZ stärker als die für die ASZ ("Restitutive Anodenwirkung").

2. Partielle EaR: (Nerv sicher nicht ganz durchtrennt)
   a) galvanisch direkt: träge, wurmförmige Zuckung,
   b) faradisch direkt: Erregbarkeit erhalten,
   c) galvanisch und faradisch indirekt: Erregbarkeit erhalten; quantitative Herabsetzungen können vorhanden sein.

Die diagnostische Bedeutung der EaR und ihrer zwei Arten ist insofern begründet, als jede EaR eine organische Läsion im Bereich des peripheren motorischen Neurons anzeigt, wobei eine komplette EaR die schwere Schädigung, die partielle eine mittelstarke Schädigung anzeigt. Leichte Schädigungen zeigen keine EaR, evtl. eine Herabsetzung der quantitativen Erregbarkeit (größere Stromstärke erforderlich).

Nach schwerer akuter Schädigung ist zunächst keine elektrische Veränderung festzustellen (evtl. Aufhebung der Leitfähigkeit an der Verletzungsstelle). Nach 2 - 3 Tagen sinkt die indirekte und direkte galvanische und faradische Erregbarkeit ab. Erst im Verlauf der zweiten Woche kommt es nach Laubenthal und Monrad - Krohn zu einer trägen Zuckung und zum Erlöschen der direkten faradischen und indirekten galvanischen Erregbarkeit (komplette EaR). Nach Hoff und Osler ist die Degeneration des peripheren Segmentes nach 7 - 8 Tagen bis zu den Endplatten im Muskel fortgeschritten. Von diesem Zeitpunkt an läßt sich nur noch der Muskel erregen. Die faradischen Phasen sind aber zu kurz, um eine Kontraktion des gesamten Muskels hervorrufen zu können. Grundfest (zit. nach Hoff und Osler) hat gezeigt, daß ein Muskel zehnmal langsamer reagiert als ein Nerv.

Nach Rein und Schneider steigt bei der Degeneration des Nerven seine Chronaxie an, so daß er schon auf Wechselströme von 50/sec nicht mehr anspricht (faradisch). Es wird daher nur noch die galvanische Reizung mit höherer Schwelle erfolgreich sein. Allerdings wird die Erregung ungleichzeitig verzögert sein, da hier der gemeinsame Nerveneintrittspunkt, der sonst den Großteil der Muskulatur gleichzeitig mit dem Impuls versorgt, verlorengegangen ist. Es entsteht eine langsame, oft auch über den Muskel fortlaufende, "wurmförmige Zuckung". Rein und Schneider vermuten für diese Art der Zukkung eine Schädigung der Muskelmembran.

Ist nach 2 - 3 Jahren noch keinerlei Regeneration erfolgt, so tritt Muskelfibrose und "Pseudohypertrophie" auf mit Fehlen jeglicher Muskelzuckung.

Die Chronaximetrie hat sich in der Praxis nicht durchgesetzt. Einige Autoren (Jones, Worster-Drought) haben mit Erfolg die Entladung von Kondensatoren zur Diagnose verwendet. Bei partieller EaR sind höhere Kapazitäten erforderlich, bei kompletter EaR noch höhere! (Zit. nach Nigst).

Das Auftreten des "Fibrillierens des Muskels" ist ein Zeichen für eine Störung der vorderen Wurzel oder des peripheren Nerven. Höfer nimmt an, daß trotz der Läsion am peripheren Nerven, Aktionspotentiale einzelner Muskelfasern auftreten. Nach einer neuen Ansicht haben die entnervten Muskelfasern eine herabgesetzte Reizschwelle für Acetylcholin. Der Acetylcholinspiegel im Blut soll genügen, um die Faser in Ruhe zur Spontantätigkeit zu bringen. Die Dauer des Fibrillations-Aktionspotentials soll 1 - 2 Sigma, das des willkürlichen Potentials 5 - 15 Sigma betragen (Hoff - Osler).
Prostigmin bewirkt Fibrillation in denervierten Muskelfasern. Fibrillationspotentiale sprechen also auch für die Degeneration des unteren motorischen Neurons. Bei Regeneration der Nervenfasern mit Erreichen der Endplatten nimmt die Zahl der Fibrillationen ab. Die Elektromyographie weist diese Fibrillationen nach und macht sie dadurch diagnostisch nutzbar. Diese Methode hat klinisch große Bedeutung erlangt. Man leitet dabei die Aktionspotentiale der Muskulatur durch feine Elektroden ab, die durch die Haut in den Muskel eingestochen werden (Rein und Schneider). Wird eine Nadelelektrode in die sich kontrahierende, normale Muskulatur eingestochen, so wird hierdurch die Resultante der Aktionspotentiale mehrerer motorischer Einheiten (= Neurone, und die von ihnen versorgten Muskelfasern) registriert. Man erhält so eine Interferenzkurve mit entsprechendem charakteristischem Geräusch im Lautsprecher (Nigst, Mumenthaler).
Weddel, Feinstein und Pattle fassen den Wert der elektromyographischen Methode wie folgt zusammen:

1. Nach 3 Wochen aktive, motorische Einheiten vorhanden, keine Fibrillationen = nichtdegenerative Nervenläsion. Spontanrestitution zu erwarten.
2. Mischung von Fibrillationen und Aktionspotentialen = partielle Läsion oder unvollständige Wiederherstellung.
3. Nur Fibrillationen = Degenerat. Läsion vorhanden.
4. Keinerlei elektrische Aktivität spricht für irreversible Muskelschädigung. (Zit. nach Nigst).

Als letztes diagnostisches Hilfsmittel sei noch die Bestimmung der "Intensity-Duration-Curve" des Muskels erwähnt. Um eine Kontraktion zu bewirken, muß der Strom eine gewisse Zeit einwirken und einen bestimmten Schwellenwert ha

ben (Stärke - Dauer), entsprechend den Verhältnissen am Nerven. Bei denervierter Muskulatur finden sich Abweichungen (Anstieg) von der normalen Kurve. Auf faradische Reize reagiert der denervierte Muskel nicht, da diese zu kurzdauernd sind, und man daher unerträgliche Stromstärken anwenden müßte.

Kapitel III

DEGENERATION UND REGENERATION

A. REKAPITULATION DER WICHTIGSTEN ANATOMISCHEN GEGEBENHEITEN (Benninghoff-Görttler, Brauchle)

Die Nervenzelle vom Deiters'schen Typ besteht aus einem Nervenzelleib mit der Gesamtheit seiner Fortsätze, den Dendriten und den Neuriten. Der Zelleib der Nervenzellen zeigt an fixiertem und mit besonderen Methoden verarbeitetem Material zwei besonders typische Strukturen: die chromatophile Substanz und die Neurofibrillen. Erstere wird auch als Tigroid oder Nissl-Substanz bezeichnet und findet sich in fast allen Ganglienzellen, in den Spinalganglienzellen als feinkörnige, schollig aussehende Körnchen im Zelleib. Aus der Veränderung der Nissl-Schollen lassen sich nach der Erfahrung der Pathologen Schlüsse auf eine Erkrankung der Nervenzelle ziehen. Über die Funktion ist nichts Sicheres bekannt. Das Tigroid enthält erhebliche Mengen Nucleinsäuren (Basophilie). Es ist in der Nervenzelle in charakteristischer Weise gelagert: Die kleinen, scholligen Körperchen liegen in Reihen oder Gruppen, so daß sie schmale, ungefärbte Plasmastraßen zwischen sich frei lassen, die von den Neurofibrillen eingenommen werden.

Die Nissl-Substanz verteilt sich bis in die Dendriten hinein, nicht aber in den Neuriten. Am Abgang des Neuriten (= Achsenzylinder, Axon) aus der Nervenzelle bleibt ein schollenloser Bezirk, der "Ursprungskegel" frei. Bei Erschöpfung der Nerven ist das Tigroid vermindert.

Die Neurofibrillen stellen sehr zarte, fädige Gebilde dar, die den Körper und die Fortsätze des Nerven durchziehen; nach neuerer Ansicht stellen sie nicht das histologische Substrat der Reizleitung dar, denn diese findet auf der Zelloberfläche statt. Charakteristisch für die Nervenzelle ist weiter der große, runde Kern mit dem ausgeprägten Nucleolus, ferner, in der Nähe des Kernes, der Golgi-Apparat und die Mitochondrien. Die Dendriten sind hüllenlose, rein protoplasmatische Fortsätze der Ganglienzelle, über deren Bedeutung noch nichts Sicheres bekannt ist.

Der Neurit (=Achsenzylinderfortsatz, Neuraxon) der Vorderhornzelle zieht als eigentlicher Nerv in die Peripherie bis zum Erfolgsorgan. Er ist mit besonderen Hüllen versehen und besteht aus dem vom Neuroplasma seiner Mutterzelle umschlossenen Neurofibrillenkabel. Der Neurit ist im Gegensatz zum Dendriten nicht verzweigt; er splittert sich erst bei der Erreichung seines Erfolgsorganes auf (Re-

ceptoren, Muskelendplatte). Es gibt aber Fortsätze des Neuriten, die fast unter einem rechten Winkel von seiner Verlaufsrichtung abzweigen (= Kollateralen).

Die Hülle des Neuriten besteht aus zwei Schichten: a) Markscheide und b) die sie umhüllende Schwann'sche Scheide mit Schwann'schem Kern (= periphere Glia). Die Markscheide der ursprünglich nackten Nervenfaser ist eine Bildung der Schwann'schen Zellen. Diese Zelle ist nicht schlauchartig, sondern spiralig um das Axon gelegt (wie mit Isolierband umwickelt). Die Markscheide, die den Hauptteil der Schwann'schen Zelle ausmacht, besteht aus Myelin, welches in ein feines Netz von Neurokeratin (Cytoplasmamembran der Umwicklung, ohne Myelin) eingebaut ist. (Ursprünglich in Art eines viszeralen und parietalen Blattes durch Mesaxon mit der Axonmembran verbunden, hat es dann den Achsenzylinder umwickelt). Dadurch entsteht eine lammelläre Struktur der Hülle, das heißt, Neurokeratin (= Protein) und Myelin (= Lipoid, das als Plasma der Schwann'schen Zelle aufzufassen ist) wechseln einander ab. Unterbrochen wird die Hülle von den Ranvier'schen Schnürringen. Dies sind zirkuläre Einkerbungen am Nerven, also Stellen, an denen die Schwann'sche Scheide (auch Neurilemm genannt) dem Neuroplasma des Fibrillenkabels direkt aufliegt, ohne sonst dazwischenliegende Myelinschicht. Der Teil der Neuritenhülle, der zwischen zwei Ranvier'schen Schnürringen liegt, heißt interannuläres Segment. Dieses besitzt jeweils einen Schwann'schen Kern. Direkt unterhalb (peripher) des Nerven-Zelleibes ist die Neuritenhülle nicht mit Ranvier'schen Schnürringen versehen. Schmidt-Lantermann'sche Einkerbungen sind wahrscheinlich Fixierungs-Artefacte, die bei der Schädigung des Nerven auftreten können. Sie stellen trichterförmige Unterbrechungen des Markmantels dar, in denen sich Cytoplasma befindet.

Die ganze Nervenfaser ist durch eine feine, bindegewebige Grenzmembran in die Umgebung eingebaut. Sie besteht aus Gitterfasern, die der Schwann'schen Scheide eng anliegen und in das bindegewebige Endoneurium übergehen. Mehrere Nervenfasern werden vom Perineurium umfaßt, der ganze Nervenstamm wiederum vom Epineurium.

Markarme Nerven besitzen ebenfalls Schwann'sche Zellen. Die aus dem Zentralorgan austretenden Neuriten werden also auf dem Wege zu ihrem peripheren Erfolgsorgan durch umhüllendes Bindegewebe zusammengefaßt. Die dadurch entstehenden Neuritenbündel bezeichnet man als periphere Nerven.

B. DEGENERATION

Eine Nervenzelle vermag sich allein nicht zu ernähren. Sie braucht dazu, gewissermaßen als Ammenzellen, immer eine ganze Reihe von Elementen der Glia, die ja auch überall dort vorhanden sind, wo sich Neuroplasma findet. Eine Nervenzelle kann sich nicht teilen; sie ist so alt wie der Mensch selbst (Benninghoff). Nur ihre Fortsätze haben die Fähigkeit zur Regeneration. Diesem Vorgang geht aber die Degeneration voraus (Ernst).

Durchtrennt man die Achsenzylinder, so kommt es zur Abtrennung des distalen Stückes von dem ihm übergeordneten "nutritiven Zentrum", also der Vorderhornzelle. Die motorischen Vorderhornzellen selbst bleiben dabei nicht unberührt. Es tritt eine "retrograde Zellveränderung" ein, auch "primäre Reizung" genannt. Die Zelle bläht sich auf, der Golgi-Apparat sowie der Kern werden an die Zellperipherie verlagert, es tritt Chromolyse und nachfolgende Tigrolyse ein, die Nissl-Substanz zerfällt (Bodechtel, Benninghoff).

Nach Penfield (1920) ist der Golgiapparat ein noch empfindlicherer Aktivitätsindex als die Beschaffenheit der Nissl-Substanz. Bei Axondurchtrennung wandert also die Substanz des Golgiapparates nach der Peripherie der Zelle ("Retispersion"), danach erfolgt Fragmentation ("Retisolution") (Zit. nach Fulton). Die Vorgänge im Zelleib sind reversibel, sofern der Neurit nicht zu dicht an der Zelle durchtrennt wurde und es sich nicht um sehr jugendliche Individuen handelt. Der ständige Plasmastrom wird unterbunden, dem peripheren Segment können die Stoffe, die offenbar ständig verbraucht werden, nicht mehr nachgeliefert werden, es verfällt also auf seiner ganzen Länge der Degeneration. Die ersten Veränderungen nach Durchschneidung des Axons beginnen nach Ranvier (Zit. nach Fulton) in der motorischen Endplatte durch Anschwellen und chromatolytische Veränderungen. Die weitere Degeneration soll manchmal vom distalen gegen das proximale Ende der Faser hin fortschreiten, oft auch die ganze Länge gleichzeitig ergreifen (Waller, 1850). Nach Kramer gehen zunächst die Achsenzylinder zugrunde. Die Neurofibrillen verändern sich in ihrer Färbbarkeit, zerfallen in Fragmente, zerbröckeln schließlich in einzelne Stücke, die sich spiralig aufrollen. Nach Benninghoff beginnt schon nach zwei Tagen der Verfall der Markscheide im peripheren Segment nachweisbar zu werden. Die Degeneration der Markscheide wandert langsam nach peripher, während das Axon auf der ganzen Strecke gleichzeitig degeneriert (Lüthy).

Die Markscheide löst sich in mehr oder weniger große Myelintropfen auf, die in der Schwann'schen Scheide liegen bleiben. Später zeigen diese kugeligen Gebilde die Fettreaktion auf Sudan- und Scharlachrot. Nach vier Wochen steht die fettige Umwandlung auf dem Höhepunkt (Spielmeyer). Erhalten bleibt

aber die Schwann'sche Scheide (Benninghoff, Kramer, Bodechtel). Die Schwann'schen Zellen selbst vermehren sich durch Teilung, vergrößern sich und entwickeln phagozytäre Eigenschaften (Ernst), mit deren Hilfe sie die eingeschmolzenen Abbauprodukte aus Neurofibrillen, Achsenzylinder und Neuroplasma abräumen und an das Bindegewebe weitergeben (Benninghoff). Die Schwann'schen Zellen erfüllen zwei Hauptaufgaben:

1. Fettabbau und dessen Weitergabe an das Bindegewebe der Gefäße (zusammen mit Bindegewebszellen) und
2. Bildung des Syncytiums der Büngerschen Bänder (siehe unten).

Kramer (1925) nimmt an, daß die phagozytierenden Körnchen-Zellen aus dem Bindegewebe des Endoneuriums stammen.

Die vermehrten und vergrößerten Schwann'schen Scheidenzellen stellen sich weiterhin zu bandartigen, bzw. tunnel- und säulenartigen Zügen zusammen, den sogen. Bünger'schen Bändern (Bodechtel, Benninghoff, Nigst, Kramer, Lüthy). Dadurch behält der Nerv ein faserartiges Aussehen. Der ganze Vorgang wird unter dem Begriff der "sekundären Waller'schen Degeneration" zusammengefaßt. Das Endoneurium und das sonstige Bindegewebe ist vermehrt, jedoch nicht stark, so daß der degenerierte Nerv trotzdem dünner als der normale ist. Die Farbe des makroskopisch degenerierten Nerven ist graurötlich statt normalerweise weiß (Kramer). Durch starke Quetschung und Druck treten die gleichen Veränderungen am Nerven auf. Nach Nigst dehnen sich die Neurilemm-Hüllen (Schwann'sche Scheide) infolge der Ansammlung von Makrophagen und Abbauprodukten in ihrem Lumen aus. Diese Druckzunahme kann unter Umständen zur Kompression der endoneuralen Spatien und Behinderung der Blutversorgung sowie zu vermehrter Kollagenbildung führen.

Von der Durchtrennungsstelle aus haben sich aus den beiden Stümpfen ebenfalls Schwann'sche Zellen durch Proliferation zusammen mit Abraumzellen (Gitterzellen) abgelöst und in "Bändern" angeordnet, um das Gebiet der verletzten Stelle auszufüllen (Hamperl, Bancroft/Pilcher). Diese "Bänder" sollen später den neuen Nervenfasern als "gliöse Leitbahnen" zum Einwachsen dienen (Bodechtel, Bancroft u.a.).

Der proximale Stumpf degeneriert von der Verletzungsstelle (= retrograde, nach proximal gehende Deg.) nur ungefähr zwei Millimeter weit (Bancroft/Pilcher). Andere Autoren sprechen von 1 - 2 cm. Später soll die Degeneration noch weiter fortschreiten. Insbesonders nach Zerrung des Nerven kann sie starke Ausmaße annehmen.

Motorische und sensible Nerven können sich auch wechselseitig vereinen (Hamperl, Jirzik). Degeneriertes Nervengewebe ist unspezifisch; we-

sentlich für die funktionelle Ausbildung der einwachsenden Faser ist das Erfolgsorgan (Jirzik).

Mit der Degeneration der Nervenfaser verliert nach Kramer die Muskelfaser die Querstreifung, sie wird schmäler, und das Sarkolemm zeigt deutliche Kernvermehrung. Danach kommt es zur Atrophie und später zu fibröser Umwandlung

Im Tierexperiment wurden nach Saradžišvili sogar dystrophische Prozesse in der Hirnrinde nach Schädigung der peripheren Nerven nachgewiesen.

C. REGENERATION

Die Regeneration des Nerven besteht in einem Auswachsen der Nervenfasern aus dem proximalen Stumpf durch eine amöboide, protoplasmatische Bewegung (Kosic, Nigst) nach distal. Die Fasern haben an ihrem freien Ende keulenartige Verdickungen, die sich als sogen. "Wachstumskeulen" in das Gewebe der Narbe vorarbeiten (Benninghoff). Die Zahl der auswachsenden Fortsätze ist dabei durch vielfache Aufzweigung wesentlich gegenüber dem Normalen erhöht. Ein solcher Überschuß ist schon deswegen erforderlich, weil zahlreiche Verirrungen des auswachsenden Neuriten dadurch auftreten, daß sie seitlich und rückläufig abbiegen. Trifft das auswachsende Axon auf ein unüberwindliches Hindernis, so wickeln sich feine Fibrillen von peripher her um das Ende des Achsenzylinders (= Peroncito'sche Spiralen). Dies ist aber nur bei der Katze nachgewiesen worden (Lüthy).

Der vorwachsende Nerv bedarf einer Leitung, einer "Bahnung". Als geeignete Schienen bieten sich die Bünger'schen Bänder der Schwann'schen Zellen und Gitterfasern an, sowie Fibrinfasern im Unterbrechungsgebiet und im degenerierten Segment, entlang denen sich das Axon bis zum Erfolgsorgan vorschiebt (Bodechtel und Ernst). Shawe (1955) untersuchte die Sprossenbildung an dem N. gastrocnemius, N. suralis und N. phrenicus des Kaninchens und fand, daß diese bei einem durchtrennten und sofort genähten Nerven ausgedehnter ist als bei einem gequetschten: Etwa 200 Tage nach der Verletzung finden sich beim durchschnittenen distalen Stumpf zweimal so viel Fasern wie beim gequetschten. Auch sollen die Fasern eines Muskelnerven bei der Regeneration mehr Zweigsprossen haben als die Fasern eines Hautnerven. Die Ursache hierfür wird in der größeren Dicke des Muskelnerven gesehen.

Nigst lehnt die Ansicht ab, daß das Wachstum in Richtung des geringsten Widerstandes erfolgt. Nervenfasern wachsen nicht in homogene Flüssigkeiten ein,

dagegen können sie von einem dünnen in ein festes Medium einwachsen. Die Theorien des Neurotropismus und der Galvanotaxis müssen ebenfalls abgelehnt werden.
Die auswachsenden Nervenfasern sind anfangs viel dünner als die ursprünglichen, da für den Aufbau neuer nicht genügend Material so rasch zur Verfügung steht. Dieses Material kann nur im Zelleib unter Mitwirkung des Kern gebildet werden. Von dort aus wird es im Achsenzylinder in die Peripherie befördert.

Extrakte aus nervösem Material (injiziert) sollen in sehr kleinen Mengen die Nerven-Regeneration beim Kaninchen fördern (Koechlin/v. Muralt, 1947, somit Anhänger der Cajal'schen Theorie des Neurotropismus, wonach die auswachsenden Nervenfasern durch einen neurotropen Stoff angelockt werden sollen. Der Wirkstoff wurde durch Dialyse von Gehirnbrei gewonnen, war wasserlöslich, niedermolekular und nicht eiweißartig. Die Wirksamkeit dieses neuro-vegetativen Wuchsstoffes konnte dadurch gezeigt werden, daß beim Kaninchen die Regeneration nach Durchschneidung eines sensiblen Nerven statt normal 13 - 20 Tage nur 6 - 11 Tage in Anspruch nahm.). Nach Nigst und Chase ist die Cajal'sche Ansicht, daß der distale Nervenstumpf ein chemisches, neurotropes Agens besitzt und bei der Degeneration des peripheren Segmentes entsteht, widerlegt.

Das Vordringen der gesunden Nervenfasern erfolgt solange, wie die Führungspfade (pathway structures) nicht verschlossen sind. Eine Richtungsänderung kommt dann zustande, wenn ein vorhandener Pfad von der korrekten Richtung abweicht, oder das zu durchwachsende Gewebe zu dicht ist (Nigst). Nach Matson/Alexander/Weiß tritt spontane Regeneration nur auf, wenn der Abstand der beiden Stümpfe die Strecke des einfachen bis doppelten Nervendurchmessers nicht überschreitet. Dieser Abstand kann für die Nerven-Regeneration mit Erfolg auf das 3 - 7fache des Durchmessers verlängert werden (Versuch am Ischiadicus des Rhesus-Affen: Ein Nervenstück wurde reseziert und das proximale Ende mit einem "Venenärmel" versehen, der hochgekrempelt wurde. Dann wurden Bündel sehr feiner Nylon- oder Tantalum-Fasern der gewünschten Länge (Anzahl 200 - 300) von einer Querschnittsmitte zur anderen gezogen, so daß sie den Defekt wie eine Scheide überbrückten. Dieser Kanal wurde mit Blut vom gleichen Tier gefüllt. Sodann wurde der Venenärmel über die Blutbrücke gestreift.). Nach Nigst können auch bereits bestehende oder noch bestehende Nervenfasern als Leitgebilde für neu einwachsende dienen.

Wenn das Achsenzylinder-Regenerat in die sie "erwartende" Nervenscheide nicht einwächst, verliert diese nach Chase ihre Aufnahmefähigkeit. Der periphere Nerv verfällt der Schrumpfung. Fehlt den jungen Fasern die plasmatische Gleitbahn, so haben neugebildete Fibrillen im Bindegewebe keinen

Nährboden und gehen zugrunde (Ernst). Zur Wiederherstellung der unterbrochenen Erregungsleitung ist also die Schaffung einer Leitstruktur für den auswachsenden Nerven besonders wichtig.

Nur das proximale Ende des durchtrennten Nerven besitzt das ganze "physiologische Potential" zur Regeneration und damit zur Funktion der versorgten Organe. Fernhaltung von Schädigungen der Regeneration und deren "geographische Führung" sind das Ziel der chirurgischen Behandlung. Die Nervennaht kann nicht die unterbrochene Leitung durch Zusammennähen der Kabel reparieren, sondern sie soll dem Regenerat durch Vermeidung größerer Substanzlücken eine möglichst beschwerdefreie und geordnete Leitbahn verschaffen. Natürlich erreicht dabei derselbe Achsenzylinder nicht mehr seinen ursprünglichen Endapparat. Die Organe werden daher "falsch" innerviert. Das Zentralorgan ist aber in der Lage, sich rasch anzupassen und die Organe wieder richtig funktionieren zu lassen (Bethe, Zit. nach Benninghoff). Nigst weist allerdings auf klinische und experimentelle Untersuchungen hin, wonach nur eine beschränkte "Widererziehung" von falschen Faserverbindungen eintritt. Je geordneter die Regeneration verläuft, desto besser ist der funktionelle Status nach der Erholung.

Die Abzweigungen vom Nervenstamm (terminal oder kollateral) treten immer als Folge lokaler Umweltbedingungen auf. Entlang geordneter und nicht verschlossener Pfade wächst die Nervenfaser ohne Abzweigung.
Weiß faßt die Faktoren für die Anzahl der Äste, die das Erfolgsorgan erreichen wie folgt zusammen (Zit. nach Nigst):

1. Größe der Faserquelle im proximalen Stumpf.
2. Ausmaß der Verzweigung im Narbenbereich.
3. Anzahl der Fasern, welche im distalen Stumpf aufgenommen werden.
4. Anzahl der überlebenden Fasern.
5. Dichtheit der Endverbindungen.

Ein regenerierter Nerv besitzt den selben Aufbau wie ein normaler. Es werden also Myelin, Schnürringe und Hüllenzellen gebildet. Das endoneurale Bindegewebe und die Schwann'schen Zellen bleiben vermehrt. Letztere bauen zusamm mit dem Neuriten das Myelin auf. (Ernst).

Die Stoffel'sche Lehre, die jedem einzelnen Muskelast im Nervenquerschni eine gesetzmäßige Lage zuspricht, hat sich als irrig erwiesen. Anatomische Untersuchungen haben ergeben, daß die Fasern für bestimmte Muskeläster sich übe den ganzen Querschnitt des Nerven verteilen. Nur dicht oberhalb des Abgangs eines Muskelastes ordnen sie sich zur sogenannten Astbahn zusammen. Für die Nerven wird dies bei der sogen. "Neurotisation" wichtig (Abteilung eines gesun

den Nerven und Einpflanzen in einen gelähmten Nerven).
Vorsicht ist beim N. ischiadicus geboten: N. tibialis und fibularis lassen sich sehr weit nach oben getrennt verfolgen, obwohl beide Nerven noch völlig einheitlich erscheinen Foerster). Diese anatomische Gegebenheit macht man sich für das sogen. "Abstreifen" von Ästen zur Mobilisierung des Nerven zunutze. Nach Bodechtel, Kleinschmidt u.a. kann man etwa ein Drittel des Nervenquerschnittes durchtrennen, wobei nur eine geringe Parese sämtlicher Muskeln des betreffenden Bereichs beobachtet wird.

Das Fortschreiten der Regeneration kann man klinisch verfolgen (Bodechtel), mit dem Auswachsen der Achsenzylinder verlagert sich nämlich die Klopfempfindlichkeit (Kribbel-Paraesthesien) des proximalen Nervenstückes immer weiter nach distal. (Diese Erscheinung wird als Hoffmann-Tinel'sches Zeichen bezeichnet). Das elektrisierende Gefühl dabei kommt wohl dadurch zustande, daß die regenerierten Nervenfasern, die dem peripheren Stumpf entlangwachsen, noch ohne Myelin-Scheide sind und daher gegen Berührung empfindlicher sind.

Von Goldner/Kelly wird das Tinel'sche Zeichen als befriedigendes, aber nicht schlüssiges oder zuverlässiges Merkmal für die fortschreitende Regeneration angesehen. Die Perkussions-Paraesthesie soll der Regeneration nach zwei und nach sechs Wochen nach der Verletzung geprüft werden. Wird innerhalb dieser Frist kein Fortschreiten des Zeichens nach distal festgestellt, so ist die Indikation zur operativen Exploration gegeben. Nach Young und Medawar (1942) folgt einer latenten Periode von ca. 1 Woche ein Wachstum durch die Verletzungsstelle von 0,25 mm/Tag, am distalen Stumpf beträgt die Regeneration dann 3 - 4 mm/Tag. Die latente Periode ist kürzer, wenn nur der Achsenzylinder bei erhaltener Scheide verletzt ist (Zit. nach Nigst). Beim Zerquetschen des Axons ist mit einer schnelleren Wachstumsgeschwindigkeit zu rechnen (Fulton), nämlich 0,24 - 4,36 mm/Tag. Die Latenzzeit wird mit 5,2 Tagen angegeben. Die Axone wachsen dabei rascher ein, als sie es nach einer Naht tun.

Von Sunderland (1947) wurde das Vorrücken des Hoffmann-Tinel'schen Zeichens zur Messung der Regenerationszeit der sensiblen Anteile des peripheren Nerven verwendet:

Bis zum 120. Tage	2,0 - 2,5 mm/Tag
bis zum 200. Tage	1,6 mm/Tag
bis zum 500. Tage	0,8 - 0,5 mm/Tag

Für die Regeneration der motorischen Anteile konnte Sunderland durch Ausmessen der Länge bis zum proximalen Ast, der den Muskel versorgt, Werte errechnen: am N. ulnaris bei Spontan-Restitution 0,6 mm/Tag, bei der Ner-

vennaht 0,4 mm/Tag, am N. ischiadicus unterhalb des Knies 1 mm/Tag.

Chase (1960) gibt die Wachstumsrate peripherer Nerven mit 8 mm/Tag an. Er ist ebenfalls der Meinung, daß sie beim Vorliegen einer Quetschung größer ist. Auch soll die Anwendung von narbenhemmenden Mitteln (z.B. Cortison oder ACTH) die Regeneration beschleunigen können, was experimentell bewiesen sei. Will man eine Faustregel aufstellen, so muß man eine Regenerationsrate von 1,2 bis 1,3 mm pro Tag annehmen (einschließlich Überbrückung des Defektes, Heranwachsen der Fasern und Zeitdauer bis zur Wiederkehr der Funktion).

Nach Lüthy nimmt die Wachstumsgeschwindigkeit des Axons in der Peripherie ab.

Aksenova/Ignatov/Epŝtejn (1951) Young und Guttman halten die Regenerationszeit des zentralen Nervenstumpfes nach wiederholten Operationen für unerschöpflich, bzw. für sehr groß, selbst bei Eiterungen und noch nach Jahren. Der Naht-Erfolg soll von der Beschaffenheit des peripheren Stumpfes abhängen. Shianevski (1958) hat jedoch die Regenerationskraft nach wiederholtem Trauma am Ischiadicus des Kaninchens auf Grund experimenteller Untersuchungen genauer beschrieben:

1. Die wiederholten Nervendurchtrennungen stellen keinen "aktivierenden" Faktor für die Regeneration des geschädigten Nerven dar. Die Nervenregeneration geht schlechter und langsamer vor sich.
2. Die retrograden Veränderungen (= Degeneration) in den Nervenzellen der entsprechenden Segmente sind nach wiederholter Durchtrennung viel stärker ausgeprägt.
3. Bei der hohen Durchtrennung ist die Regeneration der Achsenzylinder nach einmaligem sowie zweimaligem Trauma viel schlechter als bei tieferer Durchschneidung.
4. Die Regenerationsgeschwindigkeit nach wiederholtem Traum ist herabgesetzt.
5. Die Zahl der regenerierten Achsenzylinder von stärkerem Kaliber ist nach wiederholter Durchtrennung geringer.

Auf Grund dieser Ergebnisse sollte man also mit der Wiederholung einer Operation nach Nervenverletzungen zurückhaltend sein. Nach unseren eigenen Erfahrungen haben aber "Zweit-Nähte" durchaus gute Erfolge gezeigt (vgl. Kap. Nachuntersuchungen).

Wann sind die besten Regenerationsverhältnisse zu erwarten? Nach Bodechte

u.a. wird beim Vorliegen eines großen Querschnitts des verletzten Nerven, in Folge der im Überschuß produzierten Achsenzylinderknoten und entpsrechend vorbereiteter Richtbänder die Wiederherstellung der Kontinuität leichter sein. Der große Querschnitt muß aber hoch (d.h. proximal) liegen. Andererseits aber liegen die Verhältnisse umso günstiger, je kürzer die Strecke ist, die der Achsenzylinder bis zum Erfolgsorgan zu durchwachsen hat. (Bancroft/Pilcher, Seddon, Ernst). Der Nerv sollte also dick sein und einen kurzen Verlauf haben. Theoretisch müssen z.B. bei N. radialis und N. musculocutaneus gute Regenerationen zu erwarten sein. Dies ist tatsächlich auch der Fall.

Die Regenerationszeit beträgt mit großer Schwankungsbreite ca. 200 Tage (Monrad - Krohn). Die Zeitdauer hängt vom Abstand der Läsionsstelle zu den innervierten Muskeln ab, da die Regeneration ja vom zentralen Stumpf ausgeht. Während der Rückbildung einer Störung treten zuerst Schmerzempfindungen für unspezifische Reize auf und spontane Schmerzen in den Muskeln, die von Nerven versorgt werden, welche Träger dieser Schmerzempfindung sind oder die grobe Temperaturempfindung zum ZNS leiten (prothopathische Sensibilität). Die Fasern, die die feinere Temperaturempfindung und Lokalisation übermitteln, werden erst später intakt sein (epikritische Sensiblität). Gleichzeitig damit kommt es zur Wiederkehr der normalen elektrischen Erregbarkeit und damit zur Wiederkehr der willkürlichen Bewegung (Hoff und Osler).

Seddon (1949) gibt als weitere Hindernisse für die Nervenregeneration noch folgende Faktoren an:

> Nervenfragmente und ihre degenerative Umwandlung, Verfall der Endplatten am Muskel, Muskelatrophie und Schrumpfung des peripheren Stumpfes.

Sunderland und Bradley glauben, daß unter den vielen Faktoren, die den Erfolg der Nervennaht beeinträchtigen können, das Einwachsen der regenerierenden Fasern zwischen die Nervenbündel in das Bindegewebe des peripheren Stumpfes den ungünstigsten Einfluß auf die Regeneration ausübt. 50 % des Nervenstranges sollen Bindegewebe sein (Zit. nach Lüthy). Hirschmann (1955) stellte bei Kriegsverletzungen von peripheren Nerven fest, daß eine erhebliche Anzahl von Fasern in die verkümmerten Muskeln selbst bis in die völlig atrophierten kleinen Handmuskeln und Fußmuskeln eingewachsen waren (elektrische Prüfung), ohne daß den Verletzten diese Regeneration zu Bewußtsein gekommen war. Es trat daher auch keine Beweglichkeit der Muskeln ein.

D. DAS NEUROM

An Stümpfen durchtrennter, peripherer Nerven, auch an Amputationsstümpfen, entstehen häufig kolbige Anschwellungen, die aus a) von den Nervenscheiden geliefertem Granulationsgewebe und b) Nervenbündeln bestehen, die wellig, lockig, vielfach verschlungen und verflochten sind. Der Name "Neurom" oder "Amputationsneurom" ist insofern pathologisch nicht richtig, als es sich nicht um eine autonome Geschwulst, sondern um das Erzeugnis einer ziel- und planlosen Regeneration handelt. Mehrere solcher "Neurome" benachbarter Nerven können miteinander verschmelzen. Rosenkranzartig hintereinander aufgereihte "Neurome" kommen am selben Nerv vor. Dies ist eventuell so zu deuten, daß an einigen Nervenfasern die zentrale Degeneration (retrograd) über mehrere Schnürringe hinaufreichte; dadurch mußten die jungen Achsenzylinder weiter oben aussprossen (Ernst).

Neurome werden sehr häufig bei Nervenverletzungen gefunden, wenn der zentrale Stumpf infolge Vernarbung der Verletzungsstelle oder größerer Distanz zum peripheren Segment seinen Weg nicht finden kann (Benninghoff).
- vgl. Abb. 5 u. 7 -
Garré-Stich-Bauer vergleichen die Neurombildung als endo- und perineurale Narbe mit der Callusbildung am Knochen.

Zur Verhütung der Neurombildung empfiehlt Chase nach Edds eine Gabe von Methyl - Methylacrylat in Aceton unmittelbar an die Nervenendungen. Bei Recidiv-Neuromen nach Nervennaht wird meist eine Resektion erforderlich, weil die Regeneration nur spärlich eintritt und gleichzeitig oft noch sehr unangenehme Paraesthesien bestehen.

Kapitel IV

DIE INDIKATION ZUR OPERATION

Seddon hat für die Verletzung peripherer Nerven folgende Einteilung aufgestellt:

1. Neurapraxie
   Man bezeichnet damit eine gutartige Nervenläsion mit nur kurzdauernden klinischen Auswirkungen. Es besteht vorwiegend eine motorische Lähmung, während die Sensibilität meist völlig normal ist. Die galvanische und faradische Erregbarkeit der versorgten Muskeln bleibt erhalten. Ein chirurgischer Eingriff erübrigt sich, da sich die Parese nach Tagen bzw. Wochen zurückbildet.

   Pathologisch-anatomisch liegt eine selektive Entmyelinisierung der großen Fasern vor, besonders also der markreichen (motorischen).

2. Axonotmesis
   Bei dieser Verletzungsart werden nur die Achsenzylinder in ihrer Kontinuität unterbrochen, während die Schwann'schen Zellen und die Bindegewebsstrukturen erhalten bleiben, die anatomische Kontinuität also gewahrt bleibt. Es entsteht eine völlige Lähmung, die sich auf die motorische, sympathische und sensible Funktion des Nerven erstreckt. Nach Tagen, durch das Eintreten der Degeneration des peripheren Stückes bedingt, hört selbstverständlich jede Nervenleitung im distalen Stück auf. Es tritt eine Entartungsreaktion und bald auch eine Muskelatrophie ein.

   Ein chirurgischer Eingriff ist bezüglich einer Resektion und Naht nicht angezeigt, da die besten Voraussetzungen für ein neues Einwachsen der Axone durch Erhaltenbleiben der bindegewebigen Hüllen und damit der Leitbahnen gegeben sind.

3. Neurotmesis
   Darunter versteht man Läsionen (z.B. Schußverletzungen, Rupturen, Schnittverletzungen), bei welchen der Nerv (Achsenzylinder und bindegewebige Strukturen) in seiner Kontinuität so unterbrochen ist, daß eine spontane Regeneration meist unmöglich ist. Die Lähmungen und deren Erscheinungen sind die gleichen wie bei der Axonotmesis. Differentialdiagnostisch bestehen daher häufig Schwierigkeiten. Klarheit kann nur die planmäßig einsetzende Regeneration nach einigen Wochen oder Monaten, oder die genaue Exploration bringen. Die Wiederherstellung bleibt immer

unvollständig, schon allein deswegen, weil eine genaue Gegenüberstellung der sich entsprechenden Nervenbündel durch den chirurgischen Eingriff nicht erfolgen kann.

Daneben kann noch die partielle Neurotmesis (nur Teile des Versorgungsgebietes des Nerven betroffen, motorische und sensible Ausfälle nur partiell, oft Hyperaesthesie und Hypaesthesie, Hyperhidrosis oder Hyperalgesie) unterschieden werden, sowie die Ischaemie des Nerven mit sehr schlechter Prognose; ferner die kombinierten Nervenläsionen der drei oben angeführten Arten und die Nervenkontusionen, die nicht immer der Axonotmesis entsprechen (hervorgerufen z.B. durch Fremdkörper, Entzündungen intraneuraler Art, Blutungen, intraneutralen Narben). (Nigst, Kleinschmidt, Seddon).

Als Commotio nervi (ähnlich der Neurapraxie) bezeichnet man Lähmungserscheinungen nach traumatischen Schäden, die flüchtiger Natur sind und sich meistens in Stunden, spätestens in zwei Tagen zurückbilden (Bodechtel u.a., Delank, Nikolai und D. Tönnis). Kennzeichnend für die Commotio nervi ist der schlaffe Charakter der Lähmung und das Fehlen der entsprechenden Reflexe; reine Sensibilitätsausfälle kommen seltener vor. Mißempfindungen wie taubes Gefühl und Ameisenlaufen werden öfters angegeben. Die elektrische Erregbarkeit ist meistens nur herabgesetzt.

Die Frage der Indikation zur Operation bei einer Nervenverletzung geht von der Überlegung aus, ob der Nerv überhaupt operativ angegangen werden soll und wann. Die erste Frage bezieht sich vor allem auf die Art der Verletzung der Nerven. Es kann ein stumpfes Trauma des Nerven vorliegen im Sinne einer Kontusion (Prellschädigung) durch eine Knochenfraktur, deren Enden den Nerven abquetschen oder gar anspießen. Ferner können bei Luxationen durch anhaltenden Druck auf den Nerven Zerrungen sowie Narkoselähmungen und sogenannte Krückenlähmungen entstehen. Es kann natürlich auch zur völligen Durchtrennung kommen. Da Nerv und Blutgefäße häufig zusammen verlaufen, können die Blutgefäße gleichzeitig mitzerreißen und das entstehende Haematom, das später unter Umständen organisiert wird, einen Dauerdruck auf den Nerven ausüben. Natürlich kann auch eine Anaemisierung die Folge sein. Nervenveränderungen, die lange nach einem Trauma auftreten können, sind die "arthrogene Spätlähmung" und die Narbenbildungen nach Verletzungen. Gelegentlich kommen auch gut- oder bösartige Tumoren in Betracht (Marburg und Ranzi). Bestehen jedoch Unklarheiten über den Zustand eines Nerven oder die Art des Traumas bei einer geschlossenen Verletzung oder wurde der Nerv im Rahmen der Wundversorgung nicht revidiert, so ist das Vorgehen zunächst konservativ

(Nigst, Bodechtel u.a.), da eine spontane ausreichende Regeneration durchaus möglich ist. Eine Wartezeit ist im allgemeinen schon deshalb berechtigt, weil 60 % aller Nervenverletzungen nach einer Statistik aus dem ersten Weltkrieg spontan heilen und 30 % sich bessern sollen (Bodechtel u.a.). Es erscheint fraglich, ob diese Verletzungen auch wirklich organisch waren.

Diese Wartezeit soll aber nur solange eingehalten werden, bis man sicher ist, daß keine Erholung des Nerven eingetreten ist oder eintreten wird. Man wartet dabei z.B. auf die ersten Zeichen der Regeneration in dem Muskel, der planmäßig als erster wieder innerviert werden müßte. Bei bekannter Höhe der Verletzung läßt sich der Zeitpunkt berechnen: Man nimmt dabei eine Regeneration von 2,5 - 3 cm pro Monat an. Ist bis zu diesem Termin kein Rückgang der Lähmungen zu verzeichnen, so sollte eine Exploration vorgenommen werden (Nigst). Bodechtel u.a. verweisen dabei auf die Bedeutung der Atrophie, die sie für das zuverlässigste Zeichen der anatomischen Leitungsunterbrechung ansehen. Ein anderes wichtiges Zeichen seien die trophischen Ulcera (entstanden durch Druck, Verbrennung etc.), die ebenfalls fast regelmäßig für eine solche Unterbrechung sprechen sollen.

Das elektrische Verhalten der Muskeln und Nerven ist meist, zumindest für den Anfang,unzuverlässig, da die faradische und galvanische Erregbarkeit trotz völliger Durchtrennung des Nerven erst nach etwa zwei Wochen verschwindet; der Muskelschwund braucht dagegen noch längere Zeit. Dabei muß natürlich berücksichtigt werden, daß das Tempo des Ablaufs der einzelnen Regenerationsphasen verschieden ist und von der Intensität der Schädigung, den Durchblutungsverhältnissen, der Höhe der Läsion und den anatomischen Besonderheiten abhängt. Die faradische Erregbarkeit ist für die Beurteilung am nützlichsten: fehlt sowohl die direkte wie die indirekte, so ist eine schwere Nervenläsion anzunehmen (Bodechtel u.a.), wenn auch keine völlige Kontinuitätsunterbrechung obligat ist, es sei denn, die galvanische Reizung ergäbe gleichzeitig eine träge wurmförmige Zuckung.

Als äußerste Wartezeit wird im allgemeinen 3 bis 6 Monate angegeben (Bodechtel). Foerster und Lehmann zeigten, daß die Ergebnisse umso schlechter sind, je länger die Exploration hinausgeschoben wird. Ist man schon früher sicher, daß eine Spontanrestitution nicht zu erwarten ist, also eine schwere Läsion vorliegt, so sollte gleich operativ eingegriffen werden (Perthes nach 6 - 8 Wochen, Wexberg 4 Monate, Küttner 4 - 5 Monate nach vollendeter Wundheilung - Zit. nach Lexer und Kleinschmidt-). Foerster empfiehlt 4 - 6 Monate zu warten. Nach Sunderland kann man sogar 6 - 9 Monate warten, ohne die Endergebnisse dadurch zu gefährden.

Erst nach 3 Jahren seien die Ergebnisse aussichtslos.

Hat sich also bis zu dem erwarteten Zeitpunkt kein Rückgang der Lähmung feststellen lassen, so ist eine Exploration indiziert. Wenn Schmerzen bestehen oder es sich um partielle Plexusläsionen handelt, sollte besonders frühzeitig exploriert werden (Nigst). Überhaupt ist bei proximalen Läsionen ein sehr frühzeitiger Eingriff angezeigt. Lüthy nimmt an, daß die ohnehin sehr schlechten Ergebnisse der Behandlung von Plexusverletzungen wahrscheinlich durch die Nähe der Vorderhornzellen und deren Mitschädigung durch Zug, Dehnung und primäre Reizung bedingt sind. Je länger das periphere Stück ist, umso stärker wirken sich die Schrumpfungen der Schwann'schen Bänder aus (Seddon).

Bei diesen langen Wartezeiten muß natürlich vorausgesetzt werden, daß Schäden, welche die spätere Funktion zusätzlich in Frage stellen könnten, vermieden werden:

1. Überdehnung der Muskeln
2. Entstehung von Schrumpfungskontrakturen
3. Versteifung der Gelenke.

Sie werden verhindert durch aktive und passive Bewegungsübungen, Massage und elektrische Behandlung (Kleinschmidt nach Küttner u.a.).

Findet man jedoch bei der ersten Wundversorgung eine Durchtrennung des Nerven vor, so ist dies die absolute Indikation für die Nervennaht (Nigst, Veraguth u.a.), wobei auch hier wieder die Frage nach dem Zeitpunkt gestellt werden muß, d.h. ob Primärnaht oder Sekundärnaht vorzunehmen ist. Die Meinungen der Autoren gehen in diesem Punkt stark auseinander. Viele Autoren sind der Ansicht, daß die Primärnaht sofort im Zuge der Wundversorgung vorzunehmen ist, allerdings unter der Bedingung, daß saubere Wundverhältnisse vorliegen, die eine Infektion mit großer Wahrscheinlichkeit ausschließen (Lexer, Kleinschmidt, Gohrbandt, Saegesser, Marburg und Ranzi, Kordowski, Beltrán-de-Heredia. Nach Bodechtel u.a. kann sie aber nur innerhalb der ersten halben Stunde mit Erfolg durchgeführt werden, drei Stunden später nicht mehr). Klar will die Primärnaht nur bei Friedensverletzungen durchführen, da sich Kriegsverletzungen bis zu 50 % spontan restituieren sollen. Die Sekundärnaht sollte bei Friedensverletzungen nur unter ungünstigen Wundverhältnissen durchgeführt werden, allerdings darf dann nicht 4 - 6 Monate gewartet werden. Larsen und Posch empfehlen ebenfalls die Primärnaht, Kontraindikationen sind wiederum Quetschung, Zertrümmerung des Gewebes, Wundinfektion, ungenügende operative Ausrüstung oder Bestehen von anderen vorrangigen Verletzungen. Müsse aus diesen Gründen jedoch der Weg der Sekundärnaht eingeschlagen werden, so könne diese 12 - 18 Monate nach der Läsion noch zum Erfolg führen. Recht befürwortet die Primärnaht besonders

bei Durchtrennung der Digitalnerven. Die Erfolge sollen ausgezeichnet sein. Die Sensibilität kehre in 85 % der Fälle wieder, bezüglich der Motorik sei der Erfolg unsicherer.

Stampfli, Ziegler, Sunderland empfehlen auch die Primärnaht, ebenso Perret, der sich für eine frühzeitige Naht noch vor Abheilen der Wunde entscheidet. Kordowski fürchtet bei längerem Warten besonders die sekundären Folgeerscheinungen (Muskelatrophie, Knochen- und Gelenksveränderungen). Die Spätversorgung soll außerdem Schwierigkeiten bei der Aufsuchung der Nervenenden bereiten. Dieser Gesichtspunkt dürfte nicht mehr ausschlaggebend sein, da heute bei einer Wundversorgung die durchtrennt gefundenen Nerven zumindest provisorisch adaptiert oder im Gewebe fixiert werden, um eine Retraktion der Enden zu vermeiden, damit diese später leicht wieder aufgefunden werden können. Garré, Stich und Bauer geben mehr Spielraum für die Naht und fordern diese innerhalb der ersten 6 - 8 Wochen. Nach einem Jahr seien aber noch 25 % Heilchancen zu erwarten. Marburg und Ranzi zufolge besteht nach einem Jahr keine Aussicht mehr auf Heilung durch einen chirurgischen Eingriff. Sie fordern nicht die Primärnaht, sondern sie lassen der chirurgischen Maßnahme 2 - 3 Monate Zeit, ohne fürchten zu müssen, daß die Funktion der operativ vereinigten Nerven durch das Zuwarten leidet. Spielmeyer (aus Lexer) stellt ein halbes Jahr als Grenze auf, über die hinaus man nicht unnötig mit der Operation warten sollte. Lehmann und Foerster zufolge kommt es nach einer Exploration innerhalb von 4 - 6 Monaten in 63 % der Fälle zur Heilung, nach 7 - 9 Monaten nur noch in ca. 40 %. Noch bessere Resultate könnten bei noch früherer Exploration erzielt werden (aus Nigst).

Dennoch setzt sich heute immer mehr die angelsächsische Methode der frühen Sekundärnaht (3. - 4. Woche) durch. Ihr Hauptbefürworter ist Seddon mit folgenden Argumenten:

1. Bei frischen Nervenverletzungen ist die Ausdehnung der Läsion nicht sicher zu bestimmen, d.h. erst nach 3 Wochen können interstitielle Schädigungen im proximalen und distalen Stumpf als interstitielle Narben nachgewiesen werden.
2. Trotz Chemotherapie kann eine Mobilisierung des Nerven zur spannungsfreien Vereinigung der Enden bei primärer Wundversorgung nicht verantwortet werden.
3. Nach 3 Wochen ist eine Verdickung der Nervenscheide auf eine Länge von 1 - 2 cm durch Proliferation des Bindegewebes und Schwann'scher Zellen entstanden. Die Naht der Scheide hält daher besser. (Im Kaninchen-Versuch zeigte das Auswachsen der Schwann'schen Zellen den Höhepunkt zwischen 19. und 25. Tag).
4. Es besteht die Gefahr, daß der Nerv nach der Primärnaht im Zuge der

Wundheilung in Narbengewebe oder in die Umgebung eingebacken wird und sogar selbst mitvernarbt. Bei späterer Mobilisation kommt es zur Zugwirkung an der Nahtstelle, die zur Ruptur führen kann. Bei der frühen Sekundärnaht kann man dagegen den Nerven in ein gesundes Bett legen.

Wie schon erwähnt, darf auf keinen Fall darauf verzichtet werden, die Nerven bei der Wundversorgung durch Situationsnähte so zu adaptieren, daß sie sich nicht retrahieren können, was sich bei der späteren Vereinigung segensreich auswirken muß.

Hays u.a. empfehlen für die Kriegsverletzung eine Naht, sobald es die Wundverhältnisse zulassen, was meistens in der 3. - 4. Woche der Fall sein dürfte. Woodhall sieht 3 - 6 Wochen nach der Verletzung als den besten Naht-Zeitpunkt an. Chase und Brooks schließen sich der Meinung von Seddon an und Hudec sieht, ähnlich wie Livingston, Kirklin u.a. das Optimum der Naht zwischen einem halben und 3 Monaten nach der Läsion. Nach diesem Zeitpunkt seien die Ergebnisse lange nicht mehr so gut. Goldner und Kelly entscheiden sich für die Spätnaht (delayed suture) nach 6 - 20 Wochen (Radialis). Sofortige Nähte nach der Verletzung sollen diesen Autoren zufolge ohne Erfolg bleiben. Morgenthaler zieht auch die "postprimäre" Nervennaht vor.

Bei der oberen Zeitgrenze, die noch zu erfolgreichen Nähten geführt haben soll, gehen die Berichte auseinander. Granthan u.a. haben nach 3 Jahren noch befriedigende Ergebnisse gesehen und Kroll berichtet über Spätnähte, die 3 1/2 bis 4 Jahre nach der Verletzung durchgeführt wurden, wobei die Erfolge fast die von Foerster nach dem I. Weltkrieg erreicht haben sollen. Auf exakte Naht-Technik, Fixation der Extremitäten für 6 Wochen, anschließende langsame Streckung und konsequente Nachbehandlung über 2 - 3 Jahre wurde großer Wert gelegt. Nach 4 1/2 Jahren soll noch eine Plexusnaht (Geburtstrauma) mit Erfolg durchgeführt worden sein. Kroll empfiehlt daher, die operative Revision verletzter Nerven noch nach Jahren vorzunehmen. Björkesten führte eine Naht mit leidlichem Erfolg noch nach 34 Monaten durch.
Seddon gibt als Zeitpunkt, nach dem nur noch geringe Hoffnung auf Erfolg der Naht besteht (critical delay) für den Medianus 9, für den Ulnaris 18 Monate an. Die Zeitgrenzen der anderen Nerven liegen dazwischen. Kirklin fand nach Nähten, die länger als 15 Monate nach der Verletzung zurücklagen, nur selten ein Wiedereintreten der motorischen Funktion, eher noch der sensiblen. Ziegler sieht den Erfolg einer nach Jahren durchgeführten Nervennaht hauptsächlich in einer Besserung der trophischen Störungen. Aksenova

und Ignatov empfehlen eine Probeexcision aus dem distalen Abschnitt des verletzten Nerven zur Vermeidung unnötig großer Eingriffe. Die fibröse Umwandlung soll nämlich ein Jahr nach der Verletzung stark ausgeprägt sein.

Für die Indikation zur Operation kommen außer den oben angeführten Faktoren auch noch subjektive Beschwerden des Patienten, besonders Schmerzen (z.B. Kausalgie) in Betracht. Gelegentlich können sie solche Grade annehmen, daß man gezwungen ist, eine Revision vorzunehmen.

Häufig sind bei offenen Nervenverletzungen die Sehnen und Knochen mitverletzt. Die Ruhigstellung nach der Sehnennaht muß 3 Wochen betragen (Hellner), dann sollen die Sehnen möglichst mobilisiert werden (Übungsbehandlung). Will man die frühe Sekundärnaht ausführen, so adaptiert man am besten die Nervenenden und näht sie sekundär nach genügender Heilung der Sehnen (Nigst), um eine Ruptur an der Nahtstelle zu vermeiden. Außerdem liegen durchtrennte Sehnen und Nerv häufig dicht beieinander. Die komplizierte Vernähung einer Sehne könnte sich unter Umständen auf die Regeneration der Nervenfasern an der Defektstelle des Nerven ungünstig auswirken.

Bei gleichzeitig bestehender Knochenfraktur kann die Naht des verletzten Nerven noch vor Abheilung der Fraktur vorgenommen werden, da für beide Läsionen die Ruhigstellung zweckmäßig ist.

Kapitel V

DIE OPERATIONS-TECHNIK

Seit die Bedeutung der Nerven mit ihren motorischen, sensiblen und vegetativen Funktionen für den Organismus erkannt wurde, war man bestrebt, die Teilverletzung oder gar die Durchtrennung von Nerven operativ zu versorgen. Die Ergebnisse von Operationen waren von jeher ziemlich schlecht. Dies führte dazu, daß oft abenteuerliche Operationsmethoden entwickelt wurden, um die Resultate zu verbessern. Durch richtige Indikationsstellung und subtiler Durchführung einer epineuralen Naht zum richtigen Zeitpunkt sind die Erfolgsaussichten aber durchaus gut.

Fast alle peripheren Nervenoperationen führten wir in Allgemeinnarkose durch. Dies hat den Vorteil, daß die Operationen jederzeit, wenn weitere Mobilisationen mit verlängerten Incisionen nötig werden, ausgedehnt werden können. Die Eingriffe wurden stets in Blutleere der betreffenden Extremität gemacht. Die Nervennähte und Neurolysen setzen sehr subtile Manipulationen, die ein einwandfreies Blickfeld erfordern, voraus. Die Extremität wird vorher mit einer starken Gummibinde gut ausgewickelt, dann wird eine Blutdruckmanschette am proximalen Ende des Armes oder Beines bei einem Druck von ca. 300 mm/Hg belassen.

Wir sahen in vier Fällen Fehlanastomosen, die bei primärer Nervennaht in auswärtigen Krankenhäusern durchgeführt worden waren (ohne Blutleere). Besonders Verletzungen proximal des Handgelenkes bringen die Gefahr einer Verwechslung der Sehnen und Nerven, ja sogar der großen Arterien, bei der Revision mit sich, da ja die Unterscheidung der Gebilde in dieser traumatisierten Region besonders bei Operationen, die nicht in Blutleere durchgeführt werden, sehr schwierig ist. Auch für die Mobilisation des Nerven, die bei der Resektion meistens notwendig wird, ist die Blutleere zur Erkennung der abgehenden kleinen Nervenäste von Vorteil. Kleinere Blutgefäße können trotzdem gesehen und verschlossen werden. Nach Rein und Schneider kann die starke Kompression des Oberarms oder Oberschenkels bis zur Unterbrechung des arteriellen Blutstroms bis zu 2 Stunden aufrechterhalten werden. Bleibt sie jedoch länger bestehen, so kommt es zu irreversiblen Kompressionsschäden. Im allgemeinen wird man die Blutleere also ohne Schaden 1 - 2 Stunden bestehen lassen können. Seddon, Recht, Nigst u.a. führen ihre Operationen ebenfalls in Blutleere durch: Nigst beläßt die Blutleere nur bis zur Beendigung der Mobilisation des Nerven und führt die Naht dann nach erfolgter Blutstillung durch.

Postoperative Lähmungen der nicht verletzten anderen, großen Nervenstämme sahen wir nie. Bei etwa verbliebenen Kompressionsschäden durch die Manschette hätten diese ja auch an anderen Nerven der Extremität auftreten müssen. Ob trotzdem am operierten Nerven eine Beeinträchtigung der Regeneration infolge dieses Vorgehens resultiert, kann bei den ohnehin recht unterschiedlichen Ergebnissen der peripheren Nervenoperationen hier nicht entschieden werden. Hellner lehnt das Anlegen einer Blutleere für die Nervennähte ab. Kordowski warnt ausdrücklich vor der Verwendung der Esmarch'schen Binde zum Anlegen einer Blutleere für Nervenoperationen. Die hierdurch ausgelösten Schädigungen sollen sich erst nach einer langen Latenzzeit manifestieren. Die in der Literatur beschriebenen sicheren Kompressionslähmungen infolge Anlegens einer Blutleere sind dünn gesät. Zweifellos sind solche Fälle jedoch vorgekommen.

Über die Breite der zu verwendenden Manschette gehen die Meinungen auseinander. Brunner (aus Nigst) verwendet eine pneumatische Staubinde und glaubt, diese ohne Gefahr eine Stunde lang belassen zu können. Eventuell kann sie dann nach 10 Minuten Pause erneut angelegt werden. Auch Spurling lehnt die Blutleere außer bei Mitverletzung größerer Gefäße wegen der Möglichkeit der Nervenschädigungen ab, desgleichen Uebermuth, der nachträgliche Blutungen befürchtet, die zwischen den durch Naht vereinigten Enden auftreten könnten und dem Auswachsen der zentralen Nervenfasern hinderlich sein würden. Die Blutung soll an den kleinen, zwischen den Kabeln verlaufenden Gefäßen sehr sorgfältig gestillt werden.

Wir nehmen die Blutleere erst nach der Operation wieder ab, sobald ein Kompressionsverband angelegt ist. Während der ganzen Operationszeit halten wir die Gewebe gut angefeuchtet (physiologische Kochsalz-Lösung). Die Hautschnitte werden großzügig über der vermutlichen Verletzungsstelle angelegt. Die Beugefalten werden nach Möglichkeit nicht senkrecht überquert (bei Schrumpfung der Narbe wird dadurch eine Kontraktur vermieden). Alte Narben werden dabei meist benützt, bzw. eben umgangen und unter Umständen excidiert. Die genaue Schnittlinie wird der jeweiligen topographisch-anatomischen Lage des betreffenden Nerven angepaßt und muß eventuell nach proximal oder distal erweitert werden können (Pollard u.a.). Man präpariert vorsichtig unter möglichster Schonung von Blutgefäßen, kleinen Nervenästen und der Muskulatur in die Tiefe. Ist der Nerv in Narbengewebe eingebacken, so muß er im Gesunden von distal oder am besten von proximal her, nach vorherigem Anschlingen mit einem feinen Bändchen, angegangen werden. Der Nerv wird aus seinem Bett herausgelöst (Neurolyse). Das Narbengewebe wird, wenn möglich, entfernt. Es folgt nun die Inspektion und Palpation des Nerven, evtl. auch die Prüfung auf seine elektrische Erregbarkeit mittels bereitstehendem Gerät,

von deren Ergebnis das weitere Vorgehen abhängt.

Seddon (aus Nigst) teilt für die Exploration und Indikation zur Resektion in vier Aspekte ein:

1. Unverändertes Aussehen, Nerv fühlt sich normal an. Bei geschlossenen Verletzungen meist Vorliegen einer Traktions-Schädigung, bei offener Verletzung einer Axonotmesis. Resektion nicht indiziert.
2. Fusiformes Neurom, etwas derbere Konsistenz als beim normalen Nerven. Spontanrestitution ist zu erwarten. Der Schaden liegt hauptsächlich intrafasciculär. Die Läsion muß weiter untersucht werden, wenn das Neurom deutlich derb ist.
3. Nerv ist verengt oder unregelmäßig geschwollen. Narbengewebe ist zu palpieren. Weitere Untersuchung des Nerven erforderlich.
4. Vorliegen eines lateralen Neuroms. Durchführung eines "inlay"-Transplantates bei Zeichen von Leitungsfähigkeit in einem Teil des Nerven. Wenn keine Leitungsfähigkeit vorhanden ist, muß der Nerv reseziert werden.

Hofmeister beschrieb ein Verfahren zur Feststellung von intraneuralem Narbengewebe, wonach mit einer feinen, in den Nerven eingestochenen Hohlnadel physiologische NaCl-Lösung eingespritzt wird. Das künstliche Ödem breitet sich bei normalen Verhältnissen unter spindelförmiger Auftreibung des Nerven rasch in der Längsrichtung aus, bei Anwesenheit von Narbengewebe findet es jedoch einen unüberwindlichen Widerstand (aus Kleinschmidt). Das Verfahren wird heute kaum noch angewandt, da es nur eine oberflächliche und für die Resektion zu ungenaue Beurteilung des geschädigten Nerven zuläßt.

Zeigt sich bei der Inspektion und Palpation, daß eine Resektion (z.B. Vorhandensein von Neuromen, meist am proximalen, seltener am distalen Stumpf oder von intraneuralem Narbengewebe) erforderlich ist, wird je ein Markierungsfaden am proximalen und distalen Stumpf angelegt, um eine Torsion des Nerven während der Naht zu vermeiden. Die von Stoffel (1915) geforderte, möglichst genaue Anpassung einzelner im Nerven erkennbarer zusammengehöriger Stränge, ist nach den Untersuchungen Borchardts zwar nicht notwendig, da die jungen Nervenfasern in großer Zahl gebildet werden und zunächst kreuz und quer der Peripherie zustreben (aus Kleinschmidt), aber das ungehinderte Einwachsen der Regenerate sollte nicht durch unnötige Hindernisse (Torsion) erschwert werden. Auch könnte dabei die Blutversorgung an der Nahtstelle beeinträchtigt werden.

Wir verwenden für die Resektion bzw. Anfrischung des Nerven eine Rasierklinge, um den Nerven nicht zu quetschen. Zunächst wird aber das Neurom oder das Na

bengewebe des Nerven zu seiner Verlaufsrichtung quer, bis zu einem Drittel des Nervenquerschnittes, incidiert (Seddon). Weitere Einschnitte werden dann im Abstand von 2 - 3 mm scheibenartig nach proximal hin vorgenommen, bis gesunde Bündel auf einer Schnittfläche hervorquellen. Hier wird der Nerv vorsichtig ganz durchtrennt. Björkesten empfiehlt für den Fall, daß einer der beiden Stümpfe im Querschnitt dünner als der andere ist, einen Schrägschnitt zur Anpassung der Durchmesser. Das Resultat dieses Vorgehens muß aber eine Knickung des Nerven an der Nahtstelle zur Folge haben, die für die einwachsenden regenerierenden Nervenfasern kaum von Vorteil sein dürfte. Markoe (1885) hatte zur Gewinnung einer größeren Kontaktfläche ebenfalls für beide Stümpfe den schrägen Anfrischungsschnitt empfohlen.

Mit dem distalen Stumpf, der häufig weiterreichende Narben als der proximale Stumpf aufweist, wird peripherwärts dann in gleicher Weise verfahren, um den später einwachsenden Nerven-Regeneraten kein zusätzliches Hindernis im Wege zu belassen. Die Nahtvereinigung der beiden Nervenenden kann erfolgen, wenn die beiden Enden spannungslos aneinander gebracht worden sind. Zunächst wird an jeder Seite des Nerven durch vorsichtiges Fassen nur des Epineuriums je ein Haltefaden gelegt und geknüpft. Beide Fäden werden lang belassen (vgl. Abb. 2). Wir achten streng darauf, daß nur das Epineurium gefaßt wird, möglichst ohne es ganz zu durchstoßen, damit sich die Fäden später nicht in die Nervenbündel darunter eindrücken können und so kleinste Traumen hervorrufen. Schmieden (1914) empfiehlt noch die Fixierung der Enden mit zwei durch (!) den Nerven hindurchgeführten Nähten (ähnlich wie bei der Sehnennaht), also ein Nähen der Substanz, da die epineurale Naht allein wegen der meist bestehenden Spannung nicht ausreichen soll. Dieser festen Naht sollen noch einige perineurotische Nähte zur genauen Adaptierung hinzugefügt werden.

Sodann wird die Vorderseite des Nerven mit möglichst vielen Einzelknopfnähten unter Beachtung genauer Adaptierung versehen. Um die Rückseite des Nerven zu versorgen, wird ein seitlicher Haltefaden über die Vorderseite hinweg auf die andere Seite gegeben, der andere wird unter dem Nerven auf die Gegenseite durchgezogen. Durch vorsichtigen Zug an beiden Fäden wir der Nerv nun so verdrillt, daß seine Rückseite nach oben zu liegen kommt; hier können nun gleichfalls die epineuralen Nähte angelegt werden (vgl. Abb. 3). Die Einzelknopfnähte werden so eng gesetzt, daß keine Nervenbündel zwischen den Nahtstellen hervorquellen können (vgl. Abb. 4, 6 u. 8). Anschließend wird der Nerv wieder in seine normale Lage gebracht. Stieve empfiehlt auf Grund von Tierexperimenten das Lockerlassen der Nähte auf einer Seite, um einem Sickerhaematom Abfluß zu verschaffen.

Als Nahtmaterial verwenden wir feinste atraumatische schwarze Seide.

Über das Nahtmaterial ist schon viel diskutiert worden. Die meisten Autoren verwenden Seide (Lexer, Woodhall, Björkesten, Seddon, Garré-Stich-Bauer, Saegesser, Larsen und Posch u.a.). Foerster empfiehlt Seide oder sterilisiertes Frauenhaar bei sehr feinen Nerven, ebenso Guttmann. Hellner verwendet dünnes Catgut. Uebermuth empfiehlt Seide oder Catgut, Kirklin kleine Metalldrähte zur Röntgenkontrolle. Mukherjee und Douglas zeigten in Tierexperimenten am Kaninchen-Ischiadicus, daß die gewebliche Reaktion (Ausmaß der Verkapselungszone, histiocytäre Infiltration, Fremdkörper-Riesenzellen) beim metallischen Nahtmaterial am geringsten war. Trotzdem wird Seide als das geeignetste Material angesehen, wobei das Kaliber noch verringert werden könnte, da die Reißfestigkeit bei allen Materialien, außer beim Menschenhaar, größer als notwendig sei. Ebenso prüften Sunderland u. Smith an 39 Tieren verschiedene Nahtmaterialien. Glattes und chromiertes Catgut führte im Frühstadium (nach 21 Tagen) zu hochgradigen zelligen Reaktionen, im Spätstadium (nach 117 Tagen) dagegen nicht. Frauenhaar, Seide, Tantalum und Nylon zeigten im Frühstadium geringere Reaktionen, im Spätstadium aber starke Bindegewebs-Reaktionen. Für die Nervennaht werden Tantalum und Nylon für ungeeignet gehalten, ebenso das Umscheiden der Nahtstelle mit Tantalum-Manschetten; am geeignetsten seien glattes Catgut, weiße Seide und Frauenhaar, wobei die Seide am besten sterilisierbar sei. Draht würde sich nach Nigst gut eignen, knickt aber leicht und kann dabei die Nervenscheide verletzen.

Foerster bevorzugte gleichfalls Einzelknopfnähte (beim Medianus 12 - 14, beim Ischiadicus 20 - 25). Hueter (1871) empfahl als erster die Naht des Perineuriums mit Einzelknopfnähten. Einige Autoren (z.B. Lexer) bevorzugen die fortlaufende Naht.

Nach der Naht wird der Nerv in ein narbenfreies Bett zurückgelegt oder wenn dies nicht gewährleistet ist, zwischen Muskulatur gebettet oder von einem gestielten Fettlappen umschlossen. Es ist vielfach versucht worden, den Nerven mit besonderem Material an der Vereinigungsstelle zu umscheiden, um Adhäsionen zwischen Nerv und umgebendem Gewebe zu vermeiden. Es wurden entkalkter Knochen, Gefäßwandungen (sogen. Foramitti-Röhrchen), Magnesium, Gelatine, Fascie, Epineurium, Galalith, Gummi, Agarröhrchen, Trachea, Casein, Muskulatur, Pergament, Plexiglas, Amnionhaut verwendet (aus Nigst). Keine dieser Methoden hat sich jedoch so bewährt, daß eine Anwendung lohnen würde. Cliffton hat die Vorzüge der am meisten verwendeten Tantalumfolie untersucht und keine Vorteile bei der Verwendung dieses Materials sehen können,

Die Resektion des Neuroms bzw. des vernarbten Nerven und die Anfrischung sollten nicht zu knapp sein, um die Regeneration dadurch nicht zu gefährden. Dies wird in den meisten Fällen zu einem mehr oder weniger ausgedehnten Defekt im Nerven führen, den es zu überbrücken gilt. Folgende Möglichkeiten kommen dafür in Betracht (Nigst, Lexer, Marburg und Ranzi, Grantham u.a.):

1. Entlastungsstellung der Gelenke
2. Mobilisierung des Nerven nach proximal und distal, Abstreifen von Ästen
3. Verlagerung des Nerven
4. Nerven-Transplantation
5. Knochenverkürzung.

Die Naht des Nerven sollte unter allen Umständen spannungslos erfolgen, da sonst eine Ruptur der Naht befürchtet werden muß und außerdem, infolge des Dehnungszustandes, leicht eine Ischaemie des Nerven eintreten könnte. Nach Holmes zeigen die Stellen stärkster Ischaemie gleichzeitig die stärkste Bildung von kollagenen Bindegewebsfasern (= ischämische Kollagenisierung) und dieser Zustand ist weitgehend mit einer Restitution nicht vereinbar. Clifton sieht aber im Gegensatz zu den anderen Autoren, in der absichtlich herbeigeführten Spannung der Nervenscheide mit Streckung der Fasern, ein die Regeneration begünstigendes Moment. Seine Ergebnisse der unter Spannung genähten Nerven seien besser als die Naht ohne Spannung. Eine Sprengung der Naht trete nicht auf, wenn die Nervenenden durch Entspannungsnähte in Form der Matratzen-Naht (Seide) aneinandergelegt würden und die eigentlich End-End- Naht sehr dicht fortlaufend oder unterbrochen ausgeführt würde. Zur Verhinderung der Narbenbildung wurde die Naht vom Autor manchmal so ausgeführt, daß ein langer Schlauch aus Nervenscheide von dem einen Stumpf abpräpariert wurde und in den von seiner Scheide entblößten Gegenstumpf hineingesteckt wurde, um die Nahtstelle von den eigentlichen Berührungspunkten der Nervenfasern fernzuhalten.

Um die Nervenenden nun trotz Resektionsdefektes spannungslos verbinden zu können, werden zunächst die Gelenke in Entlastungsstellung für den Nerven gebracht. Sie ergibt sich aus dem anatomischen Verlauf des betreffenden Nerven. Nach Seddon sollte die Entspannungsstellung eine Beugung im Gelenk von 90° nicht überschreiten. (Nach Kleinschmidt sollte diese Stellung postoperativ mindestens 8 - 10 Tage beibehalten werden, nach Lexer 2 - 3 Wochen.) Tavlov und Zaret stellten in Tierversuchen fest, daß nach 3 Wochen die Festigkeit des genähten Nerven dem des unversehrten Nerven gleich ist. Eine Entlastungsstellung ist daher länger als 3 Wochen auch nicht

nötig. Reicht diese Maßnahme nicht aus, so wird der Nerv "mobilisiert", d.h., er wird auf eine größere Distanz aus seinem ursprünglichen Bett gelöst, was mit einem Längengewinn verbunden ist. Abgehende Seitenäste können hinderlich sein, indem sie den Nerven in seiner Lage festhalten. Man kann dies in gewissem Grade dadurch umgehen, daß man die Äste abzustreifen versucht. Sie werden dabei von ihrem Stamm einige Zentimeter weit stumpf losgelöst.

Die Mobilisation des Nerven, bei der die kollaterale Blutversorgung des Nerven zerstört wird, sollte möglichst nur nach proximal hin vorgenommen werden, da hier eine ausreichende longitudinale Blutversorgung vorhanden ist. Das periphere Stück dagegen ist weitgehend auf die kollaterale Blutversorgung angewiesen, denn die Versorgung entlang dem Nerven ist ja an der Durchtrennungsstelle unterbrochen worden (Nigst, Kleinschmidt, Lexer). Am distalen Stück sollte man daher mit der Mobilisation zurückhaltender sein.

Als dritte Möglichkeit bietet sich eine Verlagerung des Nerven an (von Wrede empfohlen), die besonders für den N. ulnaris (Verlagerung aus dem Sulcus nervi ulnaris in die Ellenbeuge) in Frage kommt, eventl. auch für den N. medianus (Verlagerung über den Lacertus fibrosus). Nach Lexer und Perthes (zit. nach Kleinschmidt) läßt sich das Verfahren nur am Arm ausführen. Boyes verlagerte einen motorischen Ast des N. ulnaris, indem er ihn am Handgelenk aus dem Hauptast abspaltete und in den Carpal-Tunnel verlagerte, um eine Wegverkürzung zu erreichen. Durch eine 2 - 3 cm lange Resektion des oberen Fibula-Endes kann für den Peronaeus manchmal eine Entlastung erzielt werden.

Durch seine Verlagerung in die Ellenbeuge werden für den Ulnaris ca. 11 cm gewonnen. Der Nerv wird entweder subcutan, in ein Muskelbett oder unter die tiefen Fingerbeuger verlagert. Besonders geschützte Lage resultiert aus letzterem Vorgehen. Der Nerv wird proximal und distal vom Sulcus nervi ulnaris freigelegt. Nach Spaltung des aponeurotischen Daches, über dem Sulcus wird der Ulnaris unter Schonung der Muskeläste (besonders der zum M. flexor carpi ulnaris ziehenden) und deren Abstreifung herausgehoben. Die Vorderarmbeugemuskulatur wird am sehnigen Ansatz durchtrennt und abgehoben; der Nerv selbst kann nun in die Ellenbeuge verlagert werden, nachdem das Septum intermuskulare mediale am Oberarm reseziert wurde. Dieses trennt, von radial herkommend und zum Epicondylus ulnaris humeri verlaufend, den N. medianus vom N. ulnaris, der es begleitet. Die tiefe Fascie distal am Unterarm muß genügend weit incidiert werden. Man kann jetzt den Ulnaris neben den Medianus lagern. Die Beugemuskulatur wird danach am Ansatz wieder fixiert (Nigst).

Mit Hilfe der ersten drei Möglichkeiten (Entlastungsstellung der Gelenke, Mobilisation, Verlagerung) läßt sich ein nicht unerheblicher Defekt überbrücken. Wir

sind bei unseren Nervennähten mit diesen Verfahren in allen Fällen ausgekommen. Seddon (zit. nach Nigst) gibt für die Nerven, bei mittelhohen Verletzungen, als "kritische Resektionslängen" folgende Werte an, bei deren Überschreiten der Erfolg einer direkten Naht bei Ausschöpfung dieser drei Möglichkeiten, fraglich wird:

Medianus	9 cm
Ulnaris	13 cm
Radialis	8 cm
Fibularis	9 cm
Tibialis	11 cm

(vgl. auch Abb. 1 u. 2).

Bei extrem niederen oder hohen Läsionen und in der Nähe von Fixpunkten (z.B. Plexus brachialis, Handgelenk) sind diese Werte natürlich kleiner. Es sind noch größere mit Erfolg auf die gleiche Weise überbrückte Defekte beschrieben worden. Aber das Risiko einer zu starken Dehnung, die zu Degeneration und Vernarbung des Nerven führen kann, wird dabei zu groß und sollte vermieden werden (Highet u. Sanders, zit. nach Chase). Die Nervenverlängerung durch Zug sollte 6 % der freigelegten Nervenstrecke nicht überschreiten (Woodhall 1949).

Es seien noch einige Verfahren erwähnt, die seltener angewendet werden, zum Teil heute auch überholt sind:

Zur allmählichen Dehnung hatte Bethe (zit. nach Lexer) eine Methode ausgearbeitet, bei der die Nervenstümpfe durch Gummifäden miteinander verbunden wurden. Durch das Herausleiten eines weiteren Fadens aus der Wunde wurde ein Nachspannen gestattet. Die Methode muß heute, nicht nur wegen der Gefahr der Infektion, abgelehnt werden, da sie gegenüber den anderen Operationen keinen Vorteil bietet und zudem in zwei Sitzungen ausgeführt werden muß. Ebenfalls in zwei Sitzungen wird nach einer Methode von Pollard u. Grantham vorgegangen: In der ersten Sitzung wird die Vernähung der teilresezierten Neurome mit Tantalum-Draht vorgenommen und die Nahtstelle mit einer Tantalum-Folie umhüllt. Gips in Entspannungsstellung für 4 - 6 Wochen, dann langsame Dehnung innerhalb von 3 - 4 Wochen. In der zweiten Sitzung wird dann die Tantalum-Folie wieder entfernt, das Narben- und Neuromstück reseziert und die Nervenvereinigung mittels Tantalum-Draht erneut vorgenommen. Wiederum Ruhigstellung für 4 - 5 Wochen. Röntgen-Kontrolle wird empfohlen.

Ein weiteres Verfahren stellte die sog. Neurotisation dar. In einem gelähmten Muskel wurde der zentrale Stumpf eingenäht, (Methode nach Heineke). Nervenfasern sprossen aus und innervieren den Muskel, indem sie auch Endplatten neu bilden.

Foerster hat mit diesem Verfahren gute Erfolge gehabt (Lexer, Veraguth, Marburg u. Ranzi). Gersuny empfahl das Verfahren der sogen. muskulären Neurotisation: ein gelähmter Muskel wird mit einem gut innervierten vernäht und von diesem gehen die Fasern auch auf den gelähmten über. Lexer hat bei diesem Verfahren, außer bei der muskulären Neurotisation der vom N. facialis versorgten Gesichtsmuskeln, keine Erfolge gesehen. Nach Woodhall werden die neuen Endplatten nur in der Umgebung der Implantationsstelle gebildet.

Löbker, Trendelenburg u. von Bergmann haben schon früher zuweilen eine Verkürzung des Knochens zur Erzwingung der Nervennaht mit Erfolg ausgeführt (zit. nach Lexer u. Kleinschmidt). Kirschner machte den Vorschlag, den Knochen subperiostal in schräger Richtung zu durchtrennen und eine dislocatio ad longitudinem zur Erzwingung einer spannungsfreien Naht vorzunehmen, indem die beiden Knochenteile gegeneinander verschoben werden. Nach etwa 10 Tagen, wenn die Nervenstümpfe zusammengeheilt sind, wird ein Dauerzug am peripheren Bruchstück angelegt, womit die Verkürzung allmählich wieder beseitigt wird. Dann wird ein Marknagel eingeschlagen (zit. nach Lexer) Saegesser empfiehlt diese Methode auch heute noch. Seddon hält, ebenso wie Perthes, die Knochenverkürzung nur bei gleichzeitig bestehender Pseudarthrose für angebracht. Auch Kordowski schlägt bei schwieriger Adaption der Nervenenden eine Verkürzungs-Osteotomie vor, desgleichen Goldner u. Kelly, die bei vier genauer beschriebenen Fällen zwei Mißerfolge und zwei Reinnervationen von 70 % bzw. 90 % sahen. Schürch u. Willenegger wiederum bezeichnen die Erfolge der Nerveneinpflanung in Muskeln und die Knochenverkürzung als fraglich.

Als weiteres, heute kaum mehr geübtes Verfahren ist von Bruns u.a. die sogen. Lappenbildung (ähnlich der Sehnenverlängerung) angegeben worden. Am peripheren oder zentralen Stumpf wird ein je nach der Größe der Lücke bemessener, am Ende gestielter Längslappen gebildet, der dann mit dem anderen Stumpf vernäht wird; oder an beiden Stümpfen wird je ein Lappen gebildet und diese werden dann in der Mitte des Defektes vereinigt (Kleinschmidt, Marburg u. Ranzi). Erfolge mit dieser Methode erscheinen sehr unwahrscheinlich, da:

1. nur ein Teil des jeweiligen Stumpfes mit dem anderen in Verbindung gesetzt wird,
2. ein Richtungsumschlag für die neuwachsenden Nerven erforderlich ist,
3. dieser Richtungsumschlag noch eine völlige Unterbrechung der Fasern aufzuweisen hat.

Kosinzew (1954) schlägt eine Modifikation der von Létiévant angegebenen Lappenbildungs-Methode vor, da hier die Nervenfasern des lappenspendenden Stumpfes durch zwei Schnitte (Anfrischung u. Lappenbildung) völlig durchtrennt werden. Der lappenspendende Stumpf wird dabei in zwei Ebenen, die im Winkel von 60^{o} zueinander stehen, durchtrennt. Durch Annähen der beiden so entstandenen Flächen kommt es zu einer direkten Verbindung zwischen den Fasern des lappenspendenden Stumpfes und der Lappenbrücke. Bei 8 Fällen seien 5mal gute Ergebnisse zu verzeichnen gewesen.

Die Nervenpropfung soll sich etwas besser bewährt haben. Sie ist nur dort anwendbar, wo zwei Nervenstämme nebeneinander liegen. Sie kann als einfache Pfropfung durchgeführt werden, indem entweder das periphere Ende des gelähmten Nerven mit den zentralen Bündeln eines nahegelegenen Nervenstammes - nach teilweiser Durchtrennung desselben - vereinigt wird oder umgekehrt, indem ein Teil des gesunden Nerven mit dem peripheren Stumpf des gelähmten anastomosiert wird.

Hofmeister empfahl die Doppel- und Mehrfach-Pfropfung, wobei das zentrale sowie das periphere Ende des gelähmten Nerven durch je einen Schlitz in den gesunden Nerven hineingezogen und durch Nähte befestigt wird; der Nerv soll als Leitband für die neuauswachsenden Nervenfasern dienen. (Kleinschmidt, Marburg u. Ranzi). Diese Anastomose-Verfahren sind heute fast ganz verlassen worden und werden nur gelegentlich noch bei peripherer Facialis-Lähmung angewandt (Nigst). Nach Lexer soll hierfür der Erfolg auch unbefriedigend sein und daher eher eine Muskelplastik mit dem Eintreten einer muskulären Neurotisation Anwendung finden.

Kann ein Defekt des Nerven mittels Entlastungsstellung der Gelenke, Verlagerung und Mobilisation nicht überbrückt werden (krit. Resektionslänge überschritten), so kommt heute hauptsächlich eine Nerven- Transplantation in Frage, besonders nach Verletzungen des Plexus brachialis, der Digitalnerven, des Facialis und unter Umständen des Fibularis (Nigst). Durch experimentelle Versuche ist festgestellt worden, daß Autotransplantate am meisten geeignet sind, die Nervenleitung wieder herzustellen, während die Verwendung von Leichennerven und solchen aus amputierten Extremitäten wegen der Unsicherheit des Erfolges abgelehnt werden mußten (Bethe, zit. nach Kleinschmidt). Seither haben viele, auch jüngere Autoren, diese Ansicht bestätigt (Woodhall, Davis u. Ruge, Marble u. Burbank, Wertheimer u. Mathieu, Jirzik, Björkesten, Seddon, Nigst). Im Tierversuch wurden allerdings einige Erfolge gesehen, für den Menschen trifft dies jedoch nicht zu. Foerster empfahl die Verwendung sensibler Nervenbündel vom Patienten selbst, da durch deren Wegnahme die

Ausfallerscheinungen tragbar sind. Die am häufigsten verwendeten Spendernerven sind der N. suralis, der N. saphenus, die Nn. cutanei entebrachii uln. u. med., der N. radialis superfic. (Mayer u. Mayfield, Nigst, Seddon Larsen u. Posch.)

Cernysev (1953) berichtet über 1200 Schußverletzungen, die 1-6 Monate nach der Verletzung versorgt wurden. Wenn die direkte Vernähung nicht möglich war, wurde eine homoioplastische oder heteroplastische Transplantation vorgenommen (aus Amputationen gewonnene Nervenstücke, Kälber- oder Kaninchen-Nerven oder nur Catgut-Fäden). Er konnte bei keiner der Transplantationen einen Erfolg sehen. Für die Homoiotransplantationen im Tierversuch liegen einige Erfolgsmeldungen vor, besonders wo das Transplantat kurz war. Die Ursachen für das Versagen beim Menschen werden in einer ungenügenden Blutversorgung des Transplantates und in einer aktiv erworbenen Immunität des Empfängers gesehen (Nigst). Lyons u. Woodhall (1949) gelang das längste erfolgreiche Homoiotransplantat von 3 cm Länge. J. Böhler berichtete kürzlich über zwei erfolgreiche Homoiotransplantate von 9 cm, 7 cm und 5 cm Länge. Die Umscheidung der Transplantate wurde mit Multipore vorgenommen, das nach 1/2 Jahr entfernt werden soll. Es soll zu einer eindeutigen Funktionsrückkehr gekommen sein. Hummel empfiehlt sogar die Verwendung eines N. phrenicus, was vom Patienten angeblich gut vertragen werden soll.

Seddon entnimmt von den Hauptstämmen nur dann Stücke, wenn 2 Hauptstämme so geschädigt sind, daß sie nicht repariert werden können. Nach Marble u. Burbank nekrotisieren die zentralen Partien von Nerven, die einen größeren Durchmesser als 1 mm haben. Man verwendet daher anstatt eines dicken Stückes besser mehrere dünne. Auch Seddon betont die Gefahr der Ischaemie und Nekrose der Hauptstämme. Im Ganzen soll das Kabeltransplantat (mehrere dünne Nerven) mindestens den gleichen Durchmesser wie der gelähmte Nerv haben, außerdem soll es ca. 15 % länger als der Defekt sein, um die spätere Schrumpfung damit auszugleichen. Zur Überbrückung eines Defektes in einem Nerven von 4 mm Durchmesser werden z.B. vier Segmente eines Transplantates von 2 mm Durchmesser gebraucht (Nigst). Seddon u.a. fordern, daß das Transplantat in gut durchblutetes und gesundes Gewebe zu liegen kommt.

Im Tierexperiment am Kaninchen-Ischiadicus untersuchte Nigst (1957) die Wirkung des Cortisons auf die die Regeneration hemmende Narbenbildung bei der Naht, bei Autotransplantaten und bei Homoiotransplantaten. Es wurden insgesamt 119 Eingriffe am Kaninchen vorgenommen, davon entfallen 30 auf die Nähte, 40 auf Autotransplantationen und 49 auf Homoiotransplantationen (einschließlich der Kontrolltiere). In allen Versuchsserien waren die Adhäsionen der

Nerven mit der Umgebung bei Cortison-Gabe bedeutend geringer. Bei den Nervennähten führte Cortison zu einer Verminderung der endoneuralen Narbenbildung, und das Verhältnis von isomorpher zu heteromorpher Neurotisation wurde in den Cortisonserien deutlich zugunsten der ersteren verschoben. Somit ist mit Cortison eine bessere Qualität der Regeneration und Neurotisation zu erreichen. Bei den Autotransplantaten zeigte sich der Einfluß, ähnlich wie bei den Nähten, besonders im Bereich der Verbindungsstellen zwischen Transplantat und Empfängernerv. Einflüsse auf das Transplantat selbst konnten nicht eindeutig konstatiert werden, da in beiden Serien das Epineurium verbreitert war und die endoneurale Fibrose keine eklatanten Unterschiede aufwies. Eine sekundäre Resektion der distalen Verbindungsstelle erweist sich damit als überflüssig. Einige Autoren hatten dieses Vorgehen im Hinblick auf die Neigung zur Narbenbildung, besonders des distalen Endes, empfohlen. Schreckenbach prüfte im Tierversuch die zusätzliche sekundäre Resektion der peripheren Nahtstelle mit dem Ergebnis nach, daß dieses Vorgehen nur zu sehr geringem Erfolg führt. Besonders eingehend wurde von Nigst das Verhalten der Homoiotransplantate untersucht. Die Verwendung von Homoiotransplantaten wäre für die Neurochirurgie interessant, da die Nachteile der Autotransplantation nicht in Kauf genommen werden müßten (Sensibilitätsausfälle, Menge des Transplantates, Verlängerung des Eingriffs etc.). Die längsten von Nigst erfolgreich eingepflanzten Transplantate maßen 4 cm, darunter einige mit und einige ohne Cortisonbehandlung. Der Autor schließt sich der Auffassung von Sanders an, daß die homoioplastischen Transplantationen nur dann erfolgreich sind, wenn die regenerierten Nervenfasern vor der dritten Woche in den peripheren Stumpf einwachsen, bevor die Immunreaktion ihren Höhepunkt erreicht hat. Fasern, die das Transplantat in dieser Zeit durchwachsen haben, können der Immunreaktion widerstehen. Hier konnte jedoch im Vergleich mit den Kontrolltieren nicht der Schluß gezogen werden, daß nur mit Cortison eine erfolgreiche Homoiotransplantation zu erreichen ist, allerdings könnte der Höhepunkt der Immunreaktion vielleicht zeitlich hinausgeschoben werden. Nigst empfiehlt auf Grund seiner Versuche die postoperative Medikation von Cortison nach Nervennähten, Transplantationen und Neurolysen, da das Cortison die perineuralen Adhäsionsbildungen deutlich hemmt und in geringem, aber deutlichen Maße, auch im Nerven selbst zum Ausdruck kommt.

Seddon erzielte mit der Autotransplantation fast ebenso gute Ergebnisse wie mit der End- zu End- Naht (von 58 Fällen 35 gute Erfolge). Auch Davis u. Ruge stellten im Versuch an der Katze fest, daß der Unterschied des Funktionseintrittes nach der Naht gegenüber der Transplantation nicht wesentlich ist. Pollard u. Grantham haben mit der Transplantation keine Erfolge gesehen.

Für den Fall, daß 2 Hauptstämme (z.B. Medianus und Ulnaris) gleichzeitig so große Defekte aufweisen, daß sie nur mittels Transplantat gedeckt werden können, hat Strange ein Verfahren vorgeschlagen, das er selbst mit Erfolg angewendet hat. In der 1. Sitzung werden die proximalen Stümpfe beider Nerven untereinander vernäht und der Ulnaris partiell, um die Blutgefäße zu erhalten, hoch oben durchtrennt. In der 2. Sitzung wird der Ulnaris dann vollständig durchschnitten, nach unten geschlagen und mit dem distalen Medianus-Querschnitt verbunden. Das Verfahren hat den Vorteil, daß ein großer Hauptstamm unter Sicherung seiner Blutversorgung für die Transplantation verwendet werden kann. Seddon (1953) empfiehlt diese Methode ebenfalls. (Die 2. Sitzung erfolgt nach 5 - 6 Wochen). Speziell für die Transplantation ist die nahtlose Naht mit Plasma entwickelt worden. Erste Versuche in dieser Richtung waren 1940 von Young und Medawar gemacht worden. Die Methode wurde später von Tarlov u. Shapiro verbessert (autologes Plasma). Nach Tarlov wird das Plasma gewonnen, sobald der Nerv freigelegt ist. Das Patientenblut wird in einer Spritze entnommen und in eisgekühlte paraffinierte Zentrifugengläschen gegeben. Danach wird es 3 Minuten bei 2500 Touren/Min. zentrifugiert. Die Nervenenden werden auf feinen Drahtschienen im Hohlraum einer Spezialgußform (Tarlov) adaptiert und das Plasma in die Form gegossen, wo es den Nerven allseitig umgibt. Nach 5 - 10 Minuten ist das Plasma, das die Nervenenden nun zusammenhält, erstarrt, und die Form kann entfernt werden (zit. nach Nigst). Bateman will bei der Plasmanaht wenigstens 2 Nähte anlegen, weil die Stumpfenden sonst auseinanderweichen würden. Er weist auch darauf hin, daß die Plasmanaht nicht immer angewandt werden kann, z.B. bei sehr engen Wundverhältnissen und Gelenksbeugung. Den Nahterfolg bei der Plasmanaht allein gibt Bateman mit 59 %, bei Plasmanaht und Nervennaht (Seide) mit 86 % an.

Tarlov, Boernstein, Berman fanden bei der Plasmanaht eine raschere Funktionswiederkehr als bei der epineuralen Naht. Bei ersterer soll auch die Zahl und Ordnung der einwachsenden Achsenzylinder besser sein. Woodhall (1949) empfiehlt zur Technik ebenfalls die Plasmanaht. Besonders soll sie sich für Transplantate und "Inlay-grafts" bei lateralen Neuromen eignen (Nigst). Seddon zieht für die übrigen Fälle die Seidenknopfnaht vor.

Wir selbst haben an der Neurochirurgischen Abteilung noch keine Transplantationen und Plasmanähte durchgeführt, da sich die Nervenenden bisher immer einigermaßen gut durch die oben erwähnten drei Möglichkeiten vereinigen ließen. Wenn keine Aussicht mehr auf erfolgreiche Nervenoperation besteht (z.B. zu ausgedehnte bindegewebige Umwandlung des Nerven, sehr alte Verletzung, vorhergegangene Naht hatte keinen Erfolg), müssen orthopädische Ersatzoperationen erwogen werden, auf die aber hier nicht näher eingegangen werden soll. Nach

Lange liegt der geeignetste Zeitpunkt für eine Ersatz-Operation 2 Jahre nach der Verletzung. Für den Peronaeus oder Ischiadicus empfiehlt er z.B. eine Arthrodese des unteren Sprunggelenkes (Talo-Calcaneal-Gelenk) mit Sehnenoperation, für den Radialis eine Operation nach Perthes, für den Medianus u.a. die Bunnel-Methode, für den Ulnaris eine Verpflanzung der tiefen Beugesehnen nach dorsal. Ziegler wandte bei der irreparablen Ulnaris-Parese die Operation nach Lexer an. Schoch gibt für die Ersatzplastik bei Radialis-Lähmung ein Ergebnis von 81 % erfolgreicher und 19 % weniger befriedigender Fälle an. Die Amputation muß als 'ultima ratio' betrachtet werden (Ziegler u.a.).

In der Nachbehandlung unserer Nervennähte wurden die durch Beugen in den Gelenken entlasteten Nähte nach 10 - 14 Tagen erstmalig durch leichte Streckung belastet. Nach 3 Wochen war sie vollends beseitigt. Im Anschluß daran empfahlen wir unseren Patienten eine konservative Nachbehandlung durch Elektrisieren und vor allem durch Massage. Blümcke u. Knoche stellten in Experimenten am Kaninchen-Ischiadicus fest, daß die fortgesetzte Elektroreiz-Therapie sich auf die Nervenfaserregeneration hemmend auswirkt. (Zunahme gewisser degenerativ veränderter Faserendkolben). Dennoch glauben wir, auf Massage und zumindest direkte elektrische Nachbehandlung nicht verzichten zu können, um Atrophien hinauszuschieben und die gute Aufnahmefähigkeit des denervierten Muskels für die einsprossenden Faser-Regenerate zu erhalten.

Kapitel VI

ERGEBNISSE DER NACHUNTERSUCHUNG VON NERVENNÄHTEN UND NEUROLYSEN

In den Jahren von 1955-1962 wurden an der Neuro-chirurgischen Abteilung der Chirurgischen Univ. Klinik Tübingen 47 Nervennähte an 39 Patienten und 39 Neurolysen an 37 Patienten durchgeführt. Die Operationen wurden in Allgemeinnarkose und in Blutleere durchgeführt. Letztere wurde während der ganzen Operation belassen und anschließend ein Druckverband angelegt.

Die Nachuntersuchung erfolgte 1 - 7 Jahre nach der Operation. Das Resultat wurde objektiv bestimmt durch die elektrische Erregbarkeit von Muskeln und Nerven (faradisch und galvanisch), sowie durch die üblichen subjektiven Motilitäts- und Sensibilitätsprüfungen.

Das Ergebnis der motorischen Regeneration wurde entgegen des Vorschlags einer englischen Arbeitsgruppe nur in 3 Stufen statt in 6 eingeteilt, um der Höhe der Läsion in jedem Fall gerecht werden zu können:

M 1: Keine Kontraktion oder nur sehr geringe, nicht nützliche Kontraktion der proximalen Muskeln (bezogen auf die Höhe der Verletzungsstelle). Keinerlei elektrische Erregbarkeit oder komplette EaR = Mißerfolg.

M 2: Kontraktion der proximalen Muskeln und teilweise oder schwache Kontraktion der distalen Muskeln, so daß eine nützliche Motorik vorliegt. Partielle EaR eines Muskels oder quantitative Herabsetzung der Erregbarkeit im ganzen autonomen Gebiet = deutliche Besserung.

M 3: Alle wichtigsten proximalen und distalen Muskeln mit kräftiger Kontraktion bzw. vollständige motorische Wiederherstellung mit der Möglichkeit, synergische und isolierte Bewegungen auszuführen. Normales elektrisches Verhalten oder nur geringe quantitative Herabsetzung der Erregbarkeit; = voller Erfolg bzw. "Heilung".

Für die Einteilung der sensorischen Regeneration wurde von Sakellarides und Zachary (Medical Research Council) folgende Einteilung übernommen:

S 0: Keine Sensibilität im autonomen Gebiet.

S 1: Wiederkehr der tiefen Schmerzempfindung.

S 2: Wiederkehr eines gewissen Grades von Berührungs-Schmerzempfindung, ausreichender Schutz von unbemerkten Verletzungen.

S 2 +: Wie in S 2 mit ständigen Hyperaesthesien (geringer Grad der Paraesthesien).

S 3: Wiederkehr der oberflächlichen Schmerz- und Berührungsempfindung im ganzen autonomen Bezirk.

S 3 +: Wie in S 3 mit zusätzlicher Wiederkehr der Zwei-Punkt-Diskrimination.

S 4: Vollständige Wiederherstellung.

S 0, S 1, = Mißerfolg
S 2, S 2 +, S 3, = mäßige bis gute Besserung
S 3 + S 4, = sehr guter Erfolg oder Heilung.

Die Höhe der Verletzung (Nach Sakellarides)

Unter hohen Läsionen werden für die einzelnen Nerven verstanden:

Medianus:	Verletzung	proximal der Äste zum M. pronator teres
Ulnaris:		proximal der Äste zum M. flexor carpi uln.
Radialis:		oberhalb des Abgangs des N. rad. superf.
Peronaeus:		oberhalb des Abganges des N. peronaeus superficialis
Tibialis:		oberhalb der Äste zum M. soleus.

I. Nervennähte

Zahl der Patienten: 39 Zahl der Nähte: 47

Alter: 4 - 58 Jahre.

Die Nähte verteilen sich auf die einzelnen Nerven folgendermaßen:

N. ulnaris	18
N. medianus	12
N. radialis	7

(davon entfallen 2 auf den Ramus superficialis n. radialis)

N. peronaeus	5
N. tibialis	2
N. cut. antebrachii dors.	1

N. cut. surae lateralis	1
N. accessorius	1

Ursachen der Verletzung:

Sturz in Glasscheibe	13
andere Schnittverletzungen	10
Flaschen-Explosion	2
Stich mit Messer oder Schere	8
Ruptur durch Frakturen oder Luxationen	4
Suicid	1
nach Drüsenexstirpation	1.

Bei 8 Patienten waren gleichzeitig zwei Nerven auf selber Höhe durchtrennt.

Bei 14 Patienten wurde eine Zweitnaht nach erfolgloser Primärnaht in auswärtigen Krankenhäusern oder nach Fehl-Anastomosen vorgenommen.

Resultate (Motorik): t = tief; h = hoch

Stufe	Ulnaris		Medianus		Radialis		Peronaeus		Tibial.	Sonst.
	t h	%	t h	%	t h	%	h	%	h	t
M 1	3	16 2/3	1 1	20			2	40	2	
M 2	7 2	50	4	40	1	20	2	40		
M 3	6	33 1/3	3 1	40	4	80	1	20		1
	18		10		5		5		2	1

Resultate (Sensibilität):

Stufe	Ulnaris			Medianus			Radialis			Peronaeus		Tibial.	Sonst.
	t	h	%	t	h	%	t	h	%	h	%	h	t
S 1	1	2		1	1		1			1		1	
S 2	2	2		1			2			2		1	
S 2 +	5	1		5	1		1						
S 3	1			2									1
S 3 +	3			1						1			1
S 4							1						
	17			12			5			4		2	2

	motorisch	sensibel	mot./sens.
Mißerfolge	22 %	19 %	20,5 %
Besserungen	39 %	64 %	51,5 %
voller Erfolg	39 %	17 %	28,0 %

Die Reihenfolge der Erfolgschancen, gemessen an den Mißerfolgen ergibt:

N. radialis, N. ulnaris, N. medianus, N. peronaeus, N. tibialis.

Gemessen an den völligen Wiederherstellungen der Motorik vertauschen sich ulnaris und medianus.

Ergebnisse und Höhe der Läsion

Motorisch:

	tief			hoch		
	Primär-N.	Sekund. N.	Zweit-N.	Primär-N.	Sekund. N.	Zweit-N.
M 1			1 10 %		4 40 %	5 70 %
M 2		4 40 %	6 60 %	2 (67 %)	2 20 %	1 15 %
M 3	1	6 60 %	3 30 %	1 (33 %)	4 40 %	1 15 %

Die besten Ergebnisse wurden mit der Sekundärnaht an den tiefen (distalen) Verletzungen erzielt. Die Zweitnaht (einschließlich der korrigierten Fehlanastomosen) zeigt eindeutig schlechtere Resultate bei den tiefen, besonders aber bei den hohen Verletzungen.

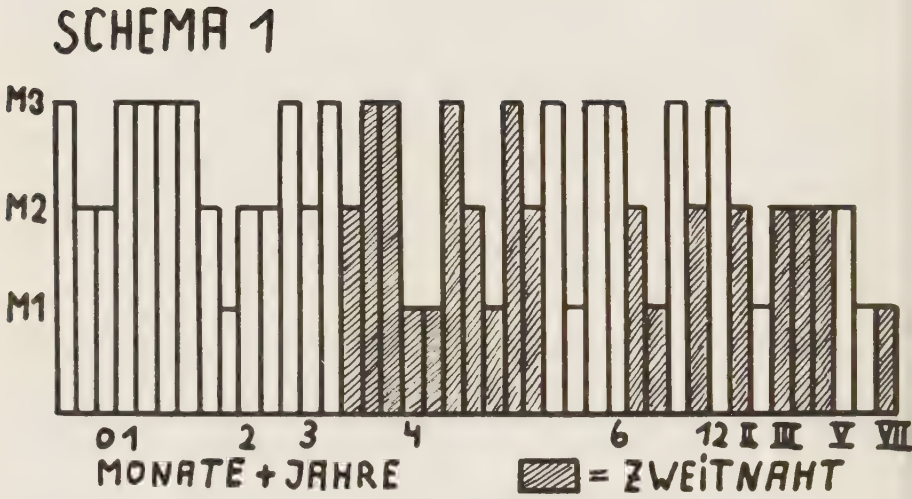
Die Erfolgsunterschiede zwischen Primär- und Sekundärnaht konnten nicht ermittelt werden, da die Verletzten fast nie sofort überwiesen worden waren, sondern meist erst nach erfolgloser Primärnaht in auswärtigen Krankenhäusern oder nachdem die erwartete Spontanrestitution ausgeblieben war. Es wurde nur bei 3 Patienten eine Primärnaht durchgeführt: In einem Fall kam ein 7jähriger Junge mit schwerer Verletzung am Oberarm durch eine Kreissäge zur Behandlung. N. medianus, N. ulnaris und A. brachialis waren durchtrennt. Das Ergebnis der Operation war M 2 S 2 + für den Ulnaris und M 2 S 2 für den Medianus. Im zweiten Falle lag ebenfalls eine schwere Schnittverletzung am Oberarm mit teilweiser Durchtrennung (4/5 des Durchmessers) des N. radialis vor. Das Ergebnis mit M 4 S 4 kann als Heilung bezeichnet werden. Natürlich kann aus diesen beiden Fällen keine Aussage über das Für und Wider von Primär- und Sekundärnaht gemacht werden. In einem weiteren Fall lag eine tiefe Ulnarisverletzung infolge Schnitt-Stich-Verletzung durch eine Autofensterscheibe vor - Ergebnis M 3 S 3 +.

Sensibel:

	tief			hoch		
	Primär-N.	Sekund. N.	Zweit-N.	Primär-N.	Sekund. N.	Zweit-N.
S 0						
S 1		1 9 %	2 18 %		2 25 %	3 43 %
S 2		1	2	1	4	3
S 2 +		6 58 %	4	1	1	
S 3			3		1	
S 3 +		4 33 %				1
S 4				1		

Ergebnisse unter dem Gesichtspunkt von Erfolg und Zeitspanne zwischen Verletzung und Naht

Monate nach der Verletzung	Anzahl der Fälle (39)
0	3
1-2	7
2-4	7
4-6	7
6-8	4
8-10	2
12	1
2 Jahre	2
3-4 "	2
4-5 "	3
7 "	1



Zweitnaht oder Fehlanastomose machten allein 41 % aus.

Innerhalb der ersten 6 Monate nach der Verletzung bestehen für die Motorik, wie aus Schema 1 ersichtlich wird, gute Aussichten auf eine erfolgreiche Naht. Nach einem Jahr nehmen die Heilungschancen stark ab, und es besteht nur sehr geringer Hoffnung auf völlige Wiederherstellung. Dennoch sollte auch dann eine Naht noch versucht werden, da wenigstens die Möglichkeit einer mehr oder weniger deutlichen Besserung gegeben ist. Der Grund hierfür dürfte weniger in einem Erlöschen der Regenerationskraft des Nerven, als in der Schädigung der Muskulatur zu suchen sein. In den ersten 6 Monaten hatten wir 18 % Mißerfolge, danach 30 %.

Anhand dieser Ergebnisse können wir uns nicht entschließen, einen bestimmten Zeitpunkt (etwa nach 20 Tagen) für die Naht innerhalb der ersten 4 - 6 Monate zu fordern. Wichtiger scheint uns eine subtile Operationstechnik, durchgeführt von Spezialisten, zu sein. Operateure, die sich mit dieser Disziplin nicht oft genug beschäftigt haben, sollten sich mit der primären Adaptation der auseinander gewichenen Nervenenden begnügen.

Abhängigkeit des Erfolges vom Alter

Eine Altersabhängigkeit im Sinne einer besseren Regenerationsfähigkeit der Nerven von jüngeren gegenüber älteren Patienten kann anhand unseres Materials nicht festgestellt werden.

Mitverletzung von Sehnen und Gefäßen

Mitverletzung von	M 1	M 2	M 3
Sehnen (8)	1	5	2
Mitverletzung von größeren Gefäßen (6)	1	2	3
Mitverletzung von Sehnen und Gefäßen (1)			1

Eine eindeutige Abhängigkeit der Regeneration von der Mitverletzung von Sehnen und Gefäßen kann ebenfalls, schon wegen der geringen Anzahl der Fälle, nicht nachgewiesen werden. In unseren Fällen wurde das Ergebnis jedenfalls nicht sichtbar beeinträchtigt.

Vergleich der Erfolgsstufen M 1, M 2 und M 3 untereinander:

Mißerfolge (M 1) bei 8 Patienten
Besserungen (M 2) bei 16 Patienten
sehr gute Erfolge (M 3) bei 15 Patienten.

Faktoren	M 1	M 2	M 3
Rechtwinklige Baugestellg. im Gelenk für spannungsfreie Naht	5 62 %	4 25 %	5 33 %
Beugestellung größer als rechter Winkel	1 12,5 %		
Naht unter leichter Spannung trotz Entlastungsstellung	1 12,5 %	2 12,5 %	2 13 %
Überschreiten der "kritischen Resektionslängen" n. SEDDON	2 25 %		
Ischaemie des Nerven (Op. -Befund)	2 25 %		
Hohe Läsion	7 88 %	4 25 %	6 40 %
Zweitnaht oder Fehlanastomose	4 50 %	6 37 %	4 27 %
Op. 1 Jahr u. mehr nach Verletzung	3 37 %	5 31 %	1 7 %
Rezidivneurome	1	1 6 %	
	26	22	18

12 von 14 Fällen, bei denen eine Zweitnaht nötig war oder Fehlanastomosen vorgelegen haben, waren primär versorgt worden (Nahtmaterial meist Supramid 00). In einem Fall war die Längsachse beider Nervenstümpfe verschoben, in einem anderen die Nervenenden verdrillt aneinander gebracht worden. Dies zeigt, wie wichtig eine sorgfältige Operationstechnik bei den Nervennähten ist.

Nach der obigen Tabelle scheinen einige Faktoren für das Ergebnis mitbestimmend zu sein, besonders wenn mehrere von ihnen gleichzeitig zusammentreffen. Das Verhältnis der Anzahl der Fälle zu der Anzahl Faktoren ist für

M 1	1: 3,25
M 2	1: 1,37
M 3	1: 1,20.

Hohe Läsionen, Ischaemie des Nerven und zu ausgedehnte Resektionen haben zweifellos einen negativen Einfluß auf die Regeneration, ebenso zu alte Verletzungen, wie oben schon festgestellt wurde. Bei der Betrachtung darf nicht nur der Prozentsatz im Rahmen der einzelnen Stufen betrachtet werden, sondern es muß auch die Verteilung des Faktors auf die Stufen berücksichtigt werden. So scheint eine Zweitnaht (Fehlanastomose) eine ungünstige Prognose zu haben. (50 % der Mißerfolge waren Zweitnähte); von 14 Fällen sind dies aber nur 4. Eine leichte (!) Spannung auf der Naht muß sich nicht nachteilig auswirken. Das Auftreten von Rezidivneuromen wird natürlich das Ergebnis beeinträchtigen, braucht aber nicht zum völligen Mißerfolg zu führen. (Einige Kabel können durchgängig sein.)

Man muß bei der Betrachtung natürlich auch in Rechnung stellen, daß die verschiedenen Nerven eine unterschiedliche Heilungstendenz aufweisen, wie von vielen Autoren festgestellt werden konnte. Über die Theorie dieses Phänomens ist im Kapitel über die Regeneration bereits gesprochen worden.

Eine bestimmte Ursache für das Mißlingen von Nervennähten kann jedoch nicht immer angegeben werden. Wir hatten Fälle, die prognostisch gut beurteilt wurden, deren Ergebnis aber schlecht war und umgekehrt.

Häufigkeit der Neurome bei 43 Nervendurchtrennungen

Neurome am proximalen und distalen Stumpf	6	
Neurome nur am proximalen Stumpf	14	
"Neurombrücke". Stümpfe sind über ein Neurom miteinander verbunden	10	zus. 70 %
Nervenstümpfe durch eine "Bindegewebsbrücke" miteinander verbunden	5	
Nervenstümpfe enden frei ohne Neurom	8.	

Verteilung des Resultates auf obere und untere Extremität

Stufe	obere Extremität		untere Extremität	
	Anzahl	%	Anzahl	%
M 1	5	15	4	57
M 2	14	42,5	2	43
M 3	14	42,5	1	

Betrachtet wurden nur die Fälle mit motorischem Ausfall.
Die Sensibilitäts-Resultate ergeben keine erwähnenswerten Abweichungen.

Fehlanastomosen

Die Fälle mit falscher Anastomosierung von Nervenstümpfen sollen zur Ergänzung kurz beschrieben werden:

Fall 1: Schnittverletzung an der Beugeseite des li. Handgelenks mit Durchtrennung des N. medianus. Der periphere Stumpf wird mit einem Bündel des M. flexor digitorum superf. falsch verbunden vorgefunden. Der proximale Stumpf liegt frei zwischen den Beugesehnen.

Fall 2: Verletzung an der Ulnarseite des re. Handgelenkes mit Durchtrennung des N. ulnaris. Der periphere Stumpf wurde mit der Sehne des M. flexor carpi uln. verbunden. Der zentrale Stumpf endet mit einem Neurom frei in einem Narbengewebe.

Fall 3: Suicidversuch (Depression nach Geburt).
N. medianus und N. ulnaris durchtrennt. Der proximale Stumpf des Medianus wurde mit der Sehne des M. flexor indicis propr., der periphere Stumpf mit einer oberflächlichen Beugesehne anastomosiert gefunden. Der proximale Stumpf des Ulnaris war mit der Art. ulnaris durch einen dicken Seidenfaden ligiert worden. Hier bestehen kleine Nekrosen und ein Granulom, der periphere Ulnaris-Stumpf zeigt eine Fehlverbindung mit einer anderen Beugesehne.

Fall 4: Sturz durch Glastür und Schnittverletzung an der li. Hand mit Durchtrennung des N. ulnaris und medianus. Der Ulnaris wird durchtrennt aufge-

funden. Der Medianus ist mit seinem proximalen Ende in ein dickes Narbenpaket eingebacken, zusammen mit den oberflächlichen Fingerbeugern. Der periphere Anteil wird erst nach Spalten des Lig. carpi vol. transv. aufgefunden. Es zeigt sich, daß der distale Stumpf mit der Masse der oberflächlichen Fingerbeuger anastomosiert worden ist. -

In einem weiteren Falle wurde lediglich das distale Ulnarisende mit einem Catgutfaden zusammen mit dem proximalen Anteil der Art. ulnaris umstochen.

II. Neurolysen

39 perineurale Neurolysen wurden bei 37 Patienten im Alter von 7 - 65 Jahren vorgenommen (1955-62).

Auf die verschiedenen Nerven entfallen:

N. ulnaris	23
N. radialis	10
N. medianus	4
N. ischiadicus	1
N. peronaeus	1

Ursachen der Nervenschädigungen
(teilweise sehr alte Anamnese)

Frakturen und Luxationen im Bereich des Ellbogengelenkes	10
Schuß- oder Splitterverletzungen (EBG)	7
Bursitis und Gelenksentzündung	1
Tumor im Sulcus bicipitalis	1
Radius-Fraktur	3
Injektion am Gesäß (iatrogen)	1
Oberarmfraktur und Prellung	5
Stichverletzung am Oberarm oder Achselhöhle	2
Carpaltunnelsyndrom	2
Rißverletzung Kniekehle	1
ohne Anamnese	4

Resultate

Die Beurteilung für den Erfolg der Neurolysen wurde nach den gleichen Maßstäben wie für die Nähte durchgeführt:

motorisch:

	Ulnaris	Radialis	Medianus	Peron.	Isch.	Anzahl
M 1	4 17,5 %	1 10 %			1	6
M 2	5 21,5 %	2 20 %	1^{+}	1		9
M 3	14 61 %	7 70 %	2			23

sensibel:

S 1	1	1				2
S 2	6		1^{+}		1	
S 2 +	7	3	1^{+}			8
S 3	7	2				
S 3 +						
S 4	1	1	2	1		5

(1^{+} = Carpaltunnelsyndrom)

	motorisch	sensibel	motorisch/sensibel
Mißerfolge	16 %	6 %	11 %
Besserung	23,5 %	80 %	
gute Erfolge	60,5 %	14 %	

Es ergibt sich die Reihenfolge der besten Regenerationschancen für die einzelnen Nerven:

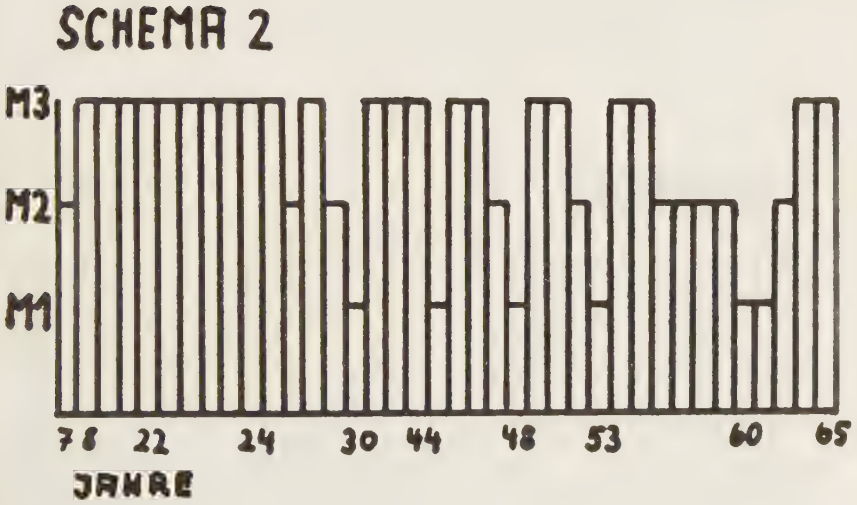
N. radialis, (N. medianus), N. ulnaris, (N. ischiadicus und N. peronaeus).

Bei den Neurolysen handelt es sich in 34 von 37 Fällen um "hohe" Läsionen. Das Ergebnis der "tiefen" Verletzungen (2 Carpaltunnel-Syndrome und 1 Ramus prof. nervi radial.) war:

	Carpal-T.		N. rad. prof.
Motorisch	M 2	-	M 3
sensibel	S 2	S 2 +	S 3

Abhängigkeit des Erfolges vom Alter der Patienten (vgl. Schema 2)

Alter der Patienten:	Jahre	Patienten
	7 - 21	6
	21 - 40	12
	40 - 65	19

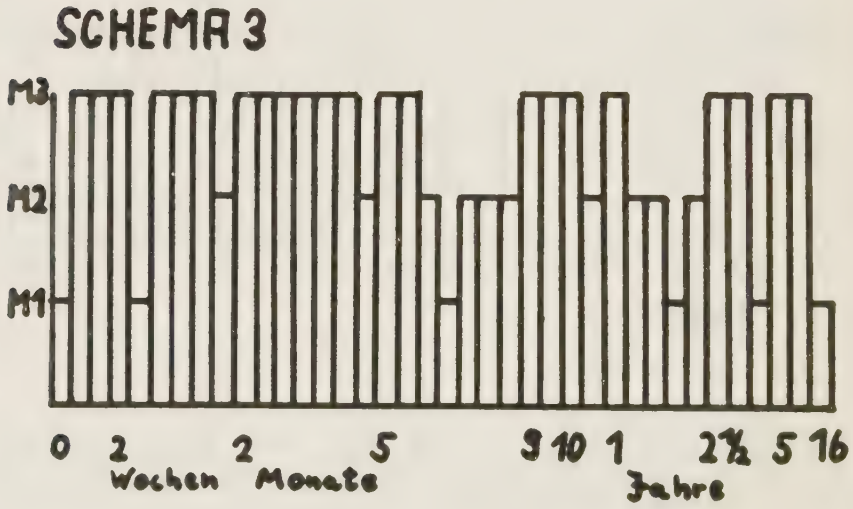


Bei jüngeren Menschen scheint nach dem Schema 2 die Heilungschance größer zu sein. Man kann diesen Befund aber sicherlich nicht verallgemeinern, da bei Jugendlichen oder Patienten zwischen 20 und 30 Jahren eine Nervenschädigung meist noch nicht so lange bestehen dürfte wie bei Älteren, so daß die intra-

neuralen Schädigungen nicht so ausgedehnt sein werden und die Erholung daher vollständiger zustandekommt.

Für die Mißerfolge bei den Neurolysen muß daher eine falsche Indikation verantwortlich gemacht werden: in diesen Fällen hätte eine Resektion des Nerven mit anschließender Naht vorgenommen werden müssen. Dafür spricht auch der relativ geringe Anteil von Stufe M 2 und das Überwiegen der Stufen M 1 und M 2. Man muß annehmen, daß hier ausgedehnte narbige Veränderungen des Nerven eine Regeneration verhindert haben. Leider läßt sich dies jedoch in den allermeisten Fällen nicht objektivieren. Nur eine Querincision mit subtiler mikroskopischer Untersuchung könnte hier weiterhelfen.

Eine Abhängigkeit des Erfolges vom Zeitpunkt eines vorausgegangenen Traumas konnte, wie erwartet, nicht gefunden werden, da der schädigende Einfluß infolge dieses Traumas häufig erst nach Jahren einsetzt (z.B. sogen. arthrogene Spätlähmung). In einem Fall lag die EBG-Fraktur über 40 Jahre zurück, bevor sie zur Ursache einer arthrogenen Spätlähmung wurde. Man muß daher eher eine Abhängigkeit des Erfolges vom (allerdings subjektiven) Zeitpunkt des Auftretens von Beschwerden bis zur Operation in Betracht ziehen (vgl. Schema 3).



In den ersten 5 Monaten seit Beginn der Beschwerden wurden 20 Neurolysen durchgeführt, davon 14 mit dem Ergebnis M 3;

nach 5 Monaten bis zu 16 Jahren Beschwerden, 19 Neurolysen mit dem Ergebnis M 3 in 9 Fällen.

Diese Befunde lassen den Schluß zu, daß für das Alter der Nervenschädigungen die gleichen Verhältnisse vorliegen wie bei der Nervennaht: Schlechtere Regenerationschancen bei Schädigungen, die länger als 6 Monate zurückliegen, vorausgesetzt, daß eine völlige Leitungsunterbrechung vorliegt.

Makroskopische Veränderungen am Nerven

Befund des Nerven	Erfolgsstufe		
	M 1	M 2	M 3
Axonotmesis			1
Anaemisch	1	1	1
Schwielige Induration, fibröse Veränderung	4	1	2
Nerv abgeplattet	1	4	6
eingemauert und stenosiert		4	8
oedematös verdickt		2	3
makroskop. unauffällig, nur Fe-Pigment		1	1

Bei der Indikation Neurolyse scheinen eine günstige Prognose zu haben:

1. Axonotmesis
2. abgeplattete und eingemauerte Nerven, wenn die Beschwerden nicht zu alt sind.
3. oedematös veränderte Nerven.

Und dies sind ja auch von vornherein die Faktoren, die die Indikation zur Neurolyse ergeben.

Schlechte Prognose:

1. Schwielige Induration des Nerven.
2. Anaemie, sofern irreversibel, z.B. bei gleichzeitiger fibröser Veränderung, d.h. die Anaemie ist nicht allein durch Kompression bedingt.

In einem Falle wurde mit der Annahme einer Stichverletzung mit Durchtrennung des N. radialis in der Achselhöhle eine sofortige Revision vorgenommen. Sämtliche Nerven samt Gefäßen waren intakt. Der Radialis wurde in Fettgewebe eingehüllt und die Gelenke in Entlastungsstellung für den Nerven gebracht. Nach 3 - 4 Monaten war noch keine Besserung zu erkennen. Fallhand. Erneute Revision: der Fasciculus posterior sieht blaß und anaemisch aus. Elektrische Reizung galvanisch und faradisch negativ. Sonst sind keinerlei pathologisch-anatomische Veränderungen zu sehen. Das Ergebnis blieb nach wie vor schlecht. In diesem Fall ist eine Wurzelzerrung mit anschließender Degeneration der Vorderhornzellen anzunehmen.

Vergleich der Ergebnisse von Nervennähten und Neurolysen

MOTORISCH:	Nervennaht	Neurolyse	Anzahl	%
Mißerfolge	9 = 22 %	6 = 16 %	15	19
Besserungen	16 = 39 %	9 = 23,5 %	25	31
Wiederherstellung	16 = 39 %	23 = 60,5 %	39	50

Mißerfolge 19 %
mäßige bis sehr gute Erfolge 81 %
davon "Heilungen" 26 %
(und zwar 32 % bei den Neurolysen und 21 % bei den Nervennähten).

SENSIBEL:	Nervennaht	Neurolyse	Anzahl	%
Mißerfolge	8 = 19 %	2 = 6 %	10	13
Besserungen	26 = 64 %	28 = 80 %	52	72
Wiederherstellungen	7 = 17 %	5 = 14 %	12	15

Mißerfolge	13 %
mäßige bis sehr gute Erfolge	87 %

MOTORISCH und SENSIBEL zusammengenommen:

	Nervennaht	Neurolyse
Mißerfolge	20,5 %	11 %
Besserungen + Wiederherst.	79,5 %	89 %

Vergleich der eigenen Ergebnisse mit denen anderer Autoren:

Erst in den letzten Jahren sind zweckmäßige Vorschläge für die Beurteilung der Ergebnisse von peripheren Nerven-Operationen gemacht worden. Leider sind die größten Statistiken diesem System noch nicht unterstellt gewesen, so daß eine vergleichende Beurteilung nicht völlig befriedigen wird.

Die absteigende Rate der Erfolgswahrscheinlichkeit bei der Nervennaht wird von verschiedenen Autoren folgendermaßen angegeben:

Foerster:	Medianus, Radialis, Ulnaris, Ischiadicus.
Veraguth:	Medianus, Radialis, Ischiads., Tibialis, Ulnaris, Peronaeus.
Stampfli:	Radialis, Ulnaris, Medianus.
Cernisev:	Radialis, Ulnaris, Medianus, Peronaeus, Tibialis. (Vgl. die eigenen Ergebn. S)
Grantham u.a.:	Musculocut., Radialis, Medianus, Ulnaris, Tibialis, Ischiadicus, Peronaeus.

Fiedler: Radialis, Medianus, Ulnaris.

Der Prozentsatz des Mißerfolges für die einzelnen Nerven wird von einigen Autoren beziffert:

	Foerster	Grantham	Hoen	Wexberg	Eigene
Musculoc.	18	0	0	-	-
Radialis	28	22	22	35	10
Medianus	31	38	32	20	18
Ulnaris	43	42	22	46	17
Tibialis	54	50	50	43	(75)
Fibularis	62	70	50	71	(33)

(Zit. nach Foerster, Grantham, Nigst und Veraguth).

Die hier angeführte Reihenfolge wird von den allermeisten Autoren bestätigt. Wir fanden jedoch, daß die Ergebnisse des N. ulnaris hinsichtlich der Mißerfolge besser als die des Medianus waren; sehr gute Erfolge wurden dagegen ehen beim Medianus erzielt.

Alter der Patienten:

Sakellarides fand eine Abhängigkeit der Regeneration vom Alter im Sinne einer bessereren Heilungschance bei jüngeren Patienten (16 J. und weniger). Wir können diesen Befund wie Björkesten nicht bestätigen. Es zeigte sich vielmehr, daß auch in fortgeschrittenem Alter eine Naht recht erfolgreich sein kann und daher gegebenenfalls indiziert ist.

Übersicht über die Mißerfolge einiger Autoren bei der Naht:

Foerster	3 %	Mayer/Mayfield ^{o}	15 %
Spielmeyer	41 %	Ostroverchov	25 %
Perthes	34 %	Sejner $^{+}$	29 %
Ranzi	52 %	Bateman m. Plasma-N.	14 %
Spitzy	25 %	ohne "	41 %
Wexberg	45 %	Stampfli ^{x}	65 %
(19 Beobachter)		Goldner ^{o}	29 %
Cernysev $^{+}$	19 %	eigene Ergebn.	20,5 %

x = zusammengestellt aus dem Material einer Unfallversichungsgesellschaft:

Verschiedene, nicht spezialisierte Operateure.

+ = bei Schußverletzungen,

o = Radialis-Verletzungen.

Die übrigen Autoren verzeichnen Mißerfolge zwischen 15 % und 80 %. Die grossen Differenzen dieser Statistik sind auf die verschiedene Erfolgsbeurteilung, den unterschiedlichen Nachuntersuchungszeiten, sowie anderen Operationstechniken zurückzuführen. Unsere Erfolgsbeurteilung wurde nach praktischen Gesichtspunkten durchgeführt, ob nämlich eine nützliche oder unbrauchbare Regeneration vorliegt oder nicht.

Die von uns ausgeführten perineuralen Neurolysen ergeben bessere Resultate als die endoneuralen, wie Foerster schon festgestellt hat und statt letzterer lieber eine Naht durchführte; den Erfolg also von der Indikation abhängig machte. Die meisten Autoren führen Besserungsziffern von 50 - 70 % an.

Foerster, Borchardt, Marburg u. Ranzi sogar 80 - 90 %:

Mauß u. Krüger	80 %	Lehmann	55 %
Borchardt	80 %	Stoffel	68 %
Wexberg	81 %	Foerster	98 %
Ranzi	76 %	eigene Ergebnisse	89 %
Perthes	70 %		

Zusammenfassung

In der vorliegenden Arbeit wurde versucht, einen Überblick über die Problematik von Verletzungen der peripheren Nerven und ihrer operativen Behandlung zu geben.

Es wurden 39 Patienten mit 47 Nervennähten und 37 Patienten mit 39 Neurolysen nachuntersucht. Die Erfolgsbeurteilung wurde für die Motorik in 3 Stufen (M 1, M2 und M 3), für die Sensibilität in 5 Stufen mit 2 Unterstufen vorgenommen. 20,5 % der Nähte waren ohne Erfolg, 26 % zeigten wesentliche Besserung oder völlige Wiederherstellung. 79,5 % wurden also überhaupt gebessert. Die absteigende Rate der Erfolgswahrscheinlichkeit war: Radialis, Ulnaris, Medianus, Peronaeus, Tibialis.

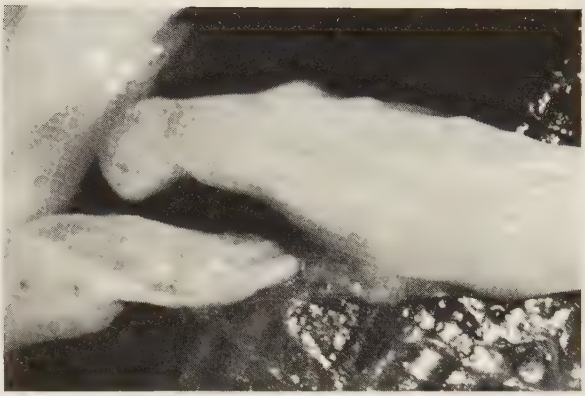
"Tiefe Läsionen" lassen wesentlich bessere Ergebnisse erwarten als hohe. Verletzungen, die länger als 6 Monate zurückliegen, haben nur sehr geringe Hei-

lungschancen. Innerhalb der Frist von 0 - 6 Monaten konnte ein optimaler Operationszeitpunkt nicht ermittelt werden. Wahrscheinlich aber ist er von untergeordneter Bedeutung. Verschiedene Einzelfaktoren und besonders das Zusammentreffen mehrerer Faktoren konnten für den Mißerfolg einer Naht verantwortlich gemacht werden. Eine Abhängigkeit der Ergebnisse vom Alter der Patienten konnte für die Nähte nicht festgestellt werden. Für den Erfolg unbedeutend war in unseren Fällen ebenso die Mitverletzung von Sehnen und Gefäßen.

Das Ergebnis der Neurolysen war: 11 % Mißerfolge und 40 % völlige Wiederherstellungen, also 89 % Besserungen. Für die Mißerfolge mußten leider nicht immer vermeidbare Fehlindikationen verantwortlich gemacht werden. Auch hier zeigte der Radialis vor dem Ulnaris ein besseres Ergebnis. Eine Abhängigkeit von der Dauer der Beschwerden (entsprechend der Dauer des Bestehens einer Nervendurchtrennung bei den Nähten) deutet ebenfalls auf eine Sechs-Monate-Grenze hin, falls eine komplette Parese vorgelegen hat. Nach diesem Zeitpunkt verschlechtern sich auch die Chancen für die Neurolyse.

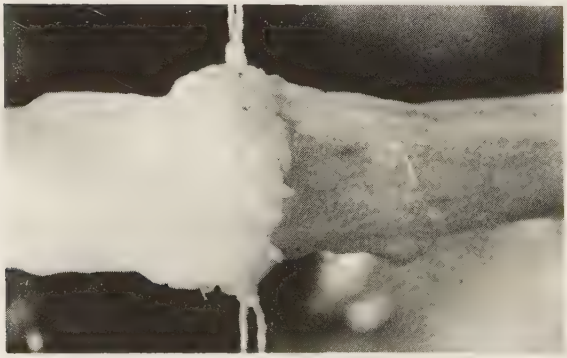
ABBILDUNGEN

Abb. 1



5 1/2 Monate alte Ruptur des N. peronaeus nach Luxation des rechten Kniegelenkes. Der Nerv zeigte sich an beiden Stümpfen 5 cm weit völlig anaemisch. Kein Narbenneurom. Resektion insgesamt 10 (!) cm; das Ergebnis war M 1.

Abb. 2



Derselbe Fall wie in Abb. 1 nach Anlegen der seitlichen Nähte. Deutlicher Unterschied im Durchmesser von proximalem und distalem Stumpf.

Abb. 3

Schnittverletzung an der Innenseite des linken Oberarms mit Durchtrennung des N. ulnaris und N. medianus durch Flaschenexplosion. Verletzung liegt 3 1/2 Monate zurück. Zweitnaht. Vordere Verlagerung des N. ulnaris, der auch bereits mit feiner schwarzer Seide durch Einzelknopfnähte versorgt wurde. Vordere Fläche des N. medianus versorgt, jetzt Drehung durch Umwechseln der seitlich angebrachten, langbelassenen Fäden. Ergebnis schlecht. Orthopädische Weiterbehandlung.

Abb. 4

N. radialis profundus. Seit 1 Jahr zunehmende Lähmungserscheinungen mit Fallhand. Ramus superfic. n. radial. intakt. Der Ramus profundus zeigte Kontinuitätsunterbrechung bei erhaltener Bindegewebsbrücke. Typische Nahtvereinigung durch Einzelknopfnähte. Ergebnis: M 3.

Abb. 5

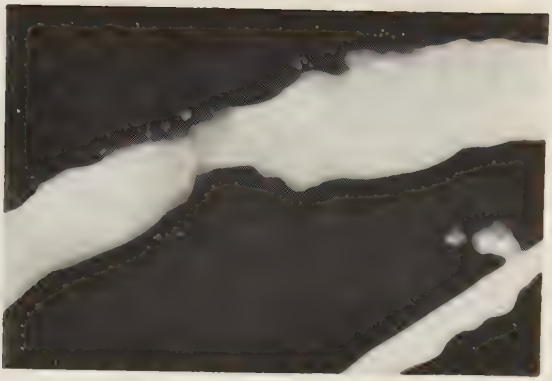
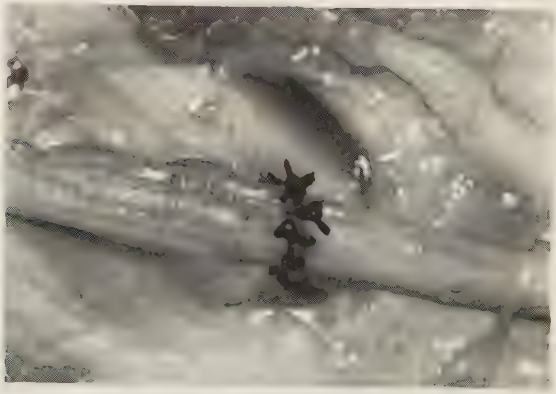


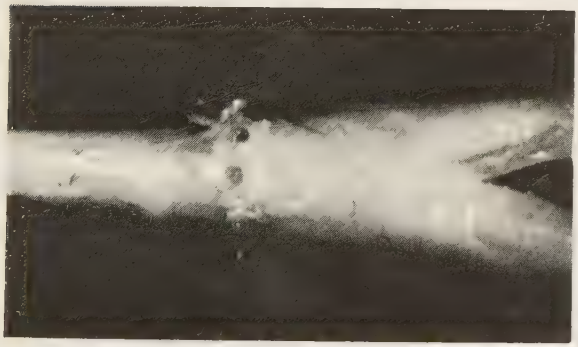
Abb. 6



Vor 2 Monaten Schnittverletzungen am Unterarm mit Verletzungen des N. radialis superficialis. Beide Stümpfe tragen je ein kleines Neurom (Abb. 5), das reseziert wird. Typische Nahtvereinigung (Abb. 6). Ergebnis: S 2+.

Abb. 7

Abb. 8



Durchtrennung des N. ulnaris im unteren Unterarmdrittel. Stümpfe weisen Narbenneurome auf (Abb. 7). Nach vorderer Verlagerung und Abstreifen der Äste gelingt spannungsfreie Naht (Abb. 8).
Ergebnis: M 3.

LITERATUR-VERZEICHNIS

AKSENOVA, A.K., IGNATOV M.G., EPSTEJN P.V.: Über wiederholte Operationen bei traumat. Verletzungen der peripheren Nerven. Vopr. Nejrochir. 15: 36-44 (1951).

AKSENOVA, IGNATOV, EPSTEJN: Über operative Eingriffe an den peripheren Nerven in späteren Zeiten nach der Verletzung. Vopr. Nejrochir. 18: H.1, 81-87 (1954).

BANCROFT F.W. u. PILCHER C.: Surgical treatment of the nervous System. Lippingcott, Philadelphia. 2. Aufl. 410-426 (1946).

BATEMAN, J.E.: Plasma silk sutures of nerves. Ann. Surg. 127: 456-463 (1948).

BELTRAN-de HEREDIA-y-ONIS, J.M.: Moderne chirurg. Gesichtspunkte zum Problem der Regeneration der peripheren Nerven. Rev. espan. oto-neuro-oftalm. 8: 273-287 (1949).

BENNINGHOFF-GOERTTLER: Lehrbuch der Anatomie des Menschen III. Urban u. Schwarzenberg, München (1957) S. 73-92.

BJÖRKESTEN, G. af: Suture of war injuries to peripheral nerves Clinical studies of results. Acta med. scand. Suppl. Bd. 119 (1947).

BJÖRKESTEN, G. af: Clinical experiences with nerve grafting J. of Neurosurg. 5: 450-463 (1948).

BLÜMCKE, S. u. KNOCHE, H.: Einfluß elektrischer Reizung auf die Regeneration peripherer Nerven. Dtsch. Zschr. für Nervenheilkunde 183: 383-398 (1962).

BODECHTEL, G., KRAUTZUN, K., KAZMEIER F.: Grundriß der traumatischen peripheren Nervenverletzungen. Thieme, Stuttgart 1951.

BÖHLER, J.: Referat geh. am 28.4.1962 in München. Tagg. der dt. Gesellschaft f. Chirurgie: Nervennaht und homoioplastische N.-Transplantation mit Millipore-Umscheidung.

BOYES, H.J.: Repair of the motor branch of the ulnar nerve in the palm. J. Bone Surg. 37-A: 920-924 (1955).

BRAUCHLE, A.: Grundriß der normalen Histologie und mikrosk. Anatomie. Thieme, Leipzig 1930.

BROOKS, D.: The modern treatment of peripheral nerve injuries Medical Press 5927: 549-553 (1952).

CERNYSEV, P.P.: Spätergebnisse der Operationen an den peripheren Nerven bei Schußverletzungen. Vopr. Nejrochir. 17, H.2: 46-53 (1953).

CHASE, R.A.: Management of a nerve injuries in the upper extremity. Surg. Clin. N. Amer. 4ß: 287-295 (1960).

CLIFFTON, E.: Tension on the suture line in periph. nerve surgery. Surgery (St. Louis) 26: 756-769 (1949).

DAVIS, L. u. RUGE, D.: Functional recovery following the use of nerve grafts. Surgery 27: 102-113 (1950).

DELANK, H.W., NIKOLEI, M., TÖNNIS, D.: Zur Behandlung peripherer Nerververletzungen. Med. Welt 1960: 1249-1256.

ERNST, P.: Das Nervensystem. Aus: Pathologische Anatomie II hrsgg. von L. Aschoff. G. Fischer, Jena 1921.

FIEDLER, H.: Über Ergebnisse der Behandlung von peripheren Nervenverletzungen. Zbl. Chir. 75: 18-24 (1950).

FOERSTER, O.: Handbuch der Neurologie. Hrsgg. von O. Bumke und O. Foerster. II. Teil, Ergänzungsband, Springer 1929.

FULTON, J.F.: Physiologie des Nervensystems. Enke-Verlag, Stuttgart 1952.

GARRÉ - STICH - BAUER: Lehrbuch der Chirurgie, Springer 1958.

GOHRBANDT, E.: Aus Gohrbandt-v. Redwitz: I. Allgemeine Operat.-Lehre S. 230. G. Fischer, Jena 1956.

GOLDNER, J.L. und KELLEY, J.M.: Radial nerve injuries. South. Med. J. 51: 873-883 (1958).

GRANTHAM, E.G., POLLARD, C., BRABSON, J.A.: Peripheral nerve surgery. Repair of nerve defects. Ann. Surg. 127: 696-705 (1948).

GRANTHAM, E.G., POLLARD, C.: Peripheral nerve surgery. Results of 281 cases followed six to twenty-four months. Ann. Surg. 134: 145-150 (1951).

HAMPERL, H.: Lehrbuch der allgemeinen Pathologie und Patholog. Anatomie: S. 156. Springer, Heidelberg 1954.

HAYS, S.B. u. COATES, J.B.: Neurosurgery: R. Spurling, B. Woodhall, Surgery in World war II, Vol. II, Washington: Office of the Surgeon Gen. Depart. of the Army 1959, 2. Hauptteil.

HIRSCHMANN, J.: Schicksal der Verletzungen peripherer Nerven des letzten Krieges. H. f. Unfallheilk. H. 48: 235-246 (1955).

HOFF, H., OSLER, G.: Neurologie auf den Grundlagen der Physiologie. Mondrich - V., Wien-Bonn, 1957, S. 45, 153, 289.

HOLMES, W.: Histological observations on the repair of Nerves by autografts. Brit. J. Surg. 35: 167-173 (1947).

HUDEC, I.: Traumatic injury to the radial nerve. Bratislav. lek. Listy 39, II: 554-561 (1959).

HUMMEL, B.: Zur Frage der Überbrückung großer Nerven-Defekte.Chirurg 19: 253-257 (1948).

JIRZIK, H.: Beitrag zur Nervenplastik. Chirurg 21: 168-171 (1950).

KAHN, E.A.: Direct observation of sweating in peripheral nerve lesions. Its use as a simple diagnostic test. Surg. etc. 92: 22-26 (1951).

KIRKLIN, J.W., MURPHEY, F., BERKSON, J.: Suture of peripheral nerves. Factors affecting prognosis. Surg. etc. 88: 719-730 (1949).

KLAR, E.: Zur operativen Behandlung peripherer Nervenlähmungen der oberen Extremität. Zbl. Neurochir. 19: 59-72 (1959).

KLEINSCHMIDT, O.: Operative Chirurgie. Springer, Berlin 1943. S. 209 ff.

KLOOS, G.: Grundr. der Psychiatrie u. Neurologie. R. Müller und Steinicke, München 1962, S. 61.

KOECHLIN, B. und MURALT, A. v.: Der neurovegetative Wuchsstoff "NR". Helvet. chim. Acta 30: 519-524 (1947).

KORDOWSKI, E.: Die Therapie der Nervenschäden in frischen Wunden. Pam. DNI chir. Szczecinie 1953: 48-55 (1954).

KOSIC, H.: Über Chirurgie und Regeneration durchtrennter Nerven. Klin. Med. (Wien) 14: 612-613 (1959).

KOSINZEW, A.: Ein Vorschlag zur Technik der Lappenbildung bei Überbrückung der Nervendefekte. Chirurg. 25: 466-467 (1954).

KRAMER, F.: Lehrbuch der Nervenkrankheiten. Hrsgg. von Curschmann u. Kramer. Springer 1925, 120-122.

KROLL, F.-W.: Über Spätnähte bei peripheren Nervenverletzungen. Dtsch. med. Wschr. 1949: 737-739.

LANGE, M.: Die Behandlung der irreparablen Verletzungen der peripheren Nerven. Wiederher. - Chir. Traum., Vol. 1, S. Karger, Basel - New York, 1953.

LARSEN, R.D. und POSCH, J.L.: Nerve injuries in the upper extremity. A.M.A. Arch. Surg. 77: 469-482 (1958).

LAUBENTHAL, F.: Leitfaden der Neurologie. 34-38, Thieme, Leipzig 1943.

LEXER, E.: Die gesamte Wiederherstellungs-Chirurgie. II. S. 755 ff., J.A. Barth, Leipzig, 2. Aufl.

LIVINGSTON, W.K.: Management of war injuries to periph. nerves. Amer. J. Surg. 76: 537-540 (1948).

LUETHY, F.: Handbuch der Inneren Medizin. Neurologie, I. Teil. Kapitel: Periphere Nerven. 202-205, 208-210. Springer, Berlin/ Göttg. Heidelb. (1953).

MARBLE, H.C. und BURBANK, C.B.: Nerve grafts into hands. Amer. J. Surg. 85: 319-321 (1953).

MATSON, D.D., ALEXANDER, E., WEISS, P.: Experiments on the bridging of gaps in severed periph. nerves of monkeys. J. of Neurosurg. 5: 230-248 (1948).

MAYER, J.H., MAYFIELD, F.H.: Surgery of the posterior interosseus branch of the radial nerve. Surg. etc. 84: 979-982 (1947).

MARBURG, O. u. RANZI, E.: Chirurgie des zentralen und peripheren Nervensystems. Aus: Lehrb. der Chirurgie-A. von Eiselsberg gewidmet. - Band I., J. Springer, Wien, S. 260 ff. (1930).

MONRAD - KROHN, G.H.: Die klinische Untersuchung des Nervensystems 1954, S. 245.

MORGENTHALER, F.: Zur Frage der primären und postprimären Nervennaht bei peripheren Nervenverletzungen. Schweiz. med. Wschr. 1951: 418-420.

MURKHERJEE, S.R. und DOUGLAS, D.M.: Aninvestigation into the value of nylon and terylene as nerve sutures. Brit. J. Surg. 39: 271-277 (1951).

NIGST, H.: Die Chirurgie der peripheren Nerven. Thieme, Stuttgart 1955.

NIGST, H.: Freie Nerventransplantation und Cortison. B. Schwabe, Basel/ Stuttgart 1957.

NORDMANN - HELLNER: Praktikum der Chirurgie. S. 83-88 Urban & Schwarzenberg, München-Berlin 1952.

OSTROVERCHOV, G.E.: Spätergebnisse der Operationen an den peripheren Nerven. Vopr. Nejrochir. 15: 45-48 (1951).

PERIPHERAL NERVE INJURIES: Med. Res. Council Spec. Rep. Ser., Nr. 282: 1-440 (1954).

PERRET, G.: Experimental and clinical investigations of peripheral nerve injuries of the upper extremities. J. Amer. Med. Assoc. 146: 556-560 (1951).

POLLARD, C. und GRANTHAM, E.G.: Peripheral nerve surgery. Incisions for exposures of peripheral nerves. Amer. J. Surg. 86: 61-69 (1953).

POLLARD, C. und GRANTHAM, E.G.: Peripheral nerve surgery. The two-stage operation. J. of Neurosurg. 12: 627-633 (1955).

RAMADIER, J.O.: Les paralyses traumatiques du sciatique et de ses branches. Rev. chir. orthoped 41: 177-190 (1955).

RECHT, P.: Frische Nervenverletzungen an der Hand. Langenbecks Arch. u. Dtsch. Z. Chir.: 538-541 (1957).

REIN - SCHNEIDER: Physiologie des Menschen. Springer, Berlin/Göttgn./Heidelbg. 1960. S. 441, 642.

RICHTER, G.A.: Schußverletzungen der peripheren Nerven und ihre Therapie. Chirurgija 1952, H. 10: 27-36.

SAKELLARIDES, H.: A follow-up study of 172 peripheral nerve injuries in the upper extremity in civilians. The J. of Bone and Joint Surg. Vol. 44-A, No. 1: 140-148 (1962).

SAEGESSER, M.: Spez. chirurg. Therapie. Med. Verl. H. Huber, Bern/Stuttg. 1957, S. 119, 221.

SARADZISVILI, P.M.: Pathophysiologie der Verletzungen der peripheren Nerven. Z. Nevropat. i. t. d. 53: 283-288 (1953).

SEJNER, Z.F.: Spätergebnisse der chirurgischen Therapie bei Schußverletzungen der peripheren Nerven in späteren Perioden. Vopr. Nejrochir. 18; H. 5: 27-33 (1954).

SCHMIEDEN, V.: Der chirurgische Operationskursus. J.A. Barth, Leipzig 1914, S. 120.

SCHOCH, J.: Zur Wahl der Ersatzplatik nach traumatischer irreversibler Radialislähmung. Arch. orthop. Unfall-Chir. 49: 663-671 (1958).

SCHRECKENBACH, G.: Die Überbrückung von Defekten an peripheren Nerven durch Nerventransplantation. Bruns' Beitr. 193: 428-440 (1956).

SCHULENBURG, C.A.R.: Peripheral nerve injuries. Procain nerveblock in their investigation. Afric.Med.J. 23: 26-30 (1949).

SCHÜRCH und WILLENEGGER: Lehrbuch der Chirurgie (Hrsgg. von Brunner u.v.a.) Band II. B. Schwabe, Basel 1950, S. 1767 ff.

SEDDON, H.J.: The use of autogenous grafts for the repair of large gaps in peripheral nerves. Brit. J. Surg. 35: 151-167 (1947).

SEDDON, H.J.: The practical value of peripheral nerve repair Proc. roy. Soc. Med. 42: 427-436 (1949).

SEDDON, H.J.: War injuries of peripheral nerves. Brit. J. Surg. 35: 151-167 (1947).

SEDDON, H.J.: The practical value of peripheral nerve repair Proc. roy. Soc. Med. 42: 427-436 (1949).

SEDDON, H.J.: War injuries of peripheral nerves. Brit. J. Surg. Suppl. Bd. 2: 325-353 (1949).

SEDDON, H.J.: Faktoren, die das Ergebnis der chirurgischen Wiederherstellung nach Verwundung peripherer Nerven bestimmen. Acta orthop. belg. 19: 213-227 (1953).

SHAWE, G.D.H.: On the number of branches formed by regenerating nerve fibres. Brit. J. Surg. 42: 474-488 (1955).

SHERMAN, I.C., TIGAY, E., ARIEFF, A., SCHILLER, M.A.: Return of Sensation after experimentally produced lesions in sciatic nerve of cat. J. of. Neurophysiol. 12: 1-15 (1949).

SHIANEVSKY, A.I.: Peripheral nerve regeneration after repeated trauma. Eksp. Chir. 3, Nr. 6: 31-34 (1958).

STAMPFLI, F.: Über Nervenverletzungen. Z. Unfallmed. u. Berufskrankh. (Zürich) 46: 228-257 (1953).

STIEVE, R.: Zwei Methoden zur Vereinigung durchtrennter Nerven. Zbl. Chir. 75: 1277-1280 (1950).

STRANGE, F.G. St.CLAIR: Case Report on pedicled nervegraft. Brit. J. Surg. 37: 331-333 (1950).

SUNDERLAND, S.: Rate of Regeneration of sensory nerve fibres. Arch. of Neurol. 58: 1-6 (1947).

SUNDERLAND, S.: Rate of regeneration of motor fibres in the ulnar sciatic nerve. Arch. of Neurol. 58: 7-13 (1947).

SUNDERLAND, S.: Observations on the course of recovery and late end results in a series of cases of periph. nerve sutures. Austral. a.N. Zeald. J. Surg. 18: 264-341 (1949).

SUNDERLAND, S., SMITH, G.K.: The relative merits of various suture materials of severed nerves. Austr. a. N. Zeald. J. Surg. 20: 85-113 (1950).

TARLOV, J.M., ZARET, M.: How long should an extremity be immobilized after nerve suture. Ann. Surg. 126: 366-376 (1947).

TARLOV, J.M., BOERNSTEIN, W., BERMAN, D.: Nerve regeneration. A comparative experimental study following suture by clot and thread. J. of Neurosurg. 5: 62-83 (1948).

UEBERMUTH, H.: Aus: Gohrbandt-v. Redwitz, Lehrb. der Chirurgie II; Die Weichteile im Bereich der Extremitäten. S. 355, G. Fischer, Jena 1956.

VERAGUTH, O.: Handbuch der Inneren Medizin. Kap.: Erkrankungen des Nerven-Systems. I. Teil: 929-931; Springer, Berlin 1925.

WERTHEIMER, P., MATHIEU J.: Resultats éloignés du traitement des plaies de nerfs. Mém. Acad. Chir. 75: 387-395 (1949).

WOODHALL, B.: Peripheral nerve injuries. Progr. in Neur. a. Psychiatrie 4: 305-324 (1949).

WOODHALL, B.: World War II and the postwar study of periph. nerve regeneration. J. Amer. med. Assoc. 139: 564-566 (1949).

WOODHALL, B.: Peripheral nerve surgery. Progr. in Neur. a. Psychiatry 6: 279-293 (1951).

ZIEGLER, F.: Über den Zeitpunkt der Nervennaht. Zbl. Cir. 75: 756-765 (1950).

ZIEGLER, F.: Über einige Fälle seltener Ersatzoperationen bei Nervenverletzungen. Zbl. Chir. 77: 2323-2327 (1952).

Lebenslauf

Am 30. 8. 1939 wurde ich in Leipzig als zweites Kind des Dr. med. Werner Staehler und seiner Ehefrau Erika, geb. Defèr, geboren.
Von Herbst 1945 bis Herbst 1949 besuchte ich in München und Tübingen die Volksschule. In den Jahren 1949 bis 1958 war ich Schüler des Keppler Gymnasiums in Tübingen. Dort legte ich im Frühjahr 1958 das Abitur ab.
Anschließend studierte ich an den Universitäten Hamburg, Freiburg, München und Tübingen Medizin. Das Physikum bestand ich im Sommersemester 1960 in Tübingen mit der Note gut. Nach 6semestrigem klinischem Studium legte ich dann im Wintersemester 1963/64 an der Universität Tübingen das Medizinische Staatsexamen mit gutem Erfolg ab.
Seit März 1964 bin ich als Medizinalassistent am Städtischen Krankenhaus in Pforzheim tätig.